doi: 10.15940/j.cnki.0001-5245.2019.04.008

# 激变变星3种周期振荡现象 的观测研究进展\*

#### 潘翠云1,2† 戴智斌1‡

(1 中国科学院云南天文台 昆明 650011)(2 中国科学院大学 北京 100049)

**摘要** 激变变星(Cataclysmic Variables, CV)的典型特性是其存在3种周期振荡现象,周期振荡指准周期性的光度快速变化.按光变时标由短到长,CV的周期振荡可分为矮新星振荡、长周期矮新星振荡和准周期振荡.对3种不同振荡在观测上的特征以及在不同亚型CV中的表现进行了介绍,并阐述了可能产生3种周期振荡的物理机制.这些振荡现象为人们研究白矮星的吸积和几何提供了丰富的信息和线索.

关键词 激变变星, 矮新星振荡, 准周期振荡, 长周期矮新星振荡, 吸积 中图分类号: P145; 文献标识码: A

### 1 引言

激变变星(Cataclysmic Variables, CV)是由一个光谱为G、K、M型的晚型主序星 和一个白矮星构成的半接密近双星系统.在CV中,白矮星通常称为主星(Primary), 晚型的主序星也叫次星(secondary)<sup>[1]</sup>.它们可以分为5种不同的亚型:矮新星(Dwarf Nova, DN)、经典新星(Classical Nova, CN)、再发新星(Recurrent Nova, RN)、类新 星(Nova-like, NL)和磁激变变星(Magnetic CV, MCV).根据白矮星的磁场强度, MCV又 分为磁场很强的高偏振星(Polar)和磁场较弱的中介偏振星(Intermediate Polar, IP). 周期振荡是一种短时标、准周期性的光变,时标范围一般在几秒至几十分钟间,振幅 在0.001-0.1 mag之间.这种振荡行为是天体在吸积过程中产生的,不仅出现在CV中,在 共生双星和X射线双星中也能观测到<sup>[2-3]</sup>.周期振荡是CV普遍存在的观测特性,不仅表 现出不同时标的亮度变化,还有不同程度的相干调制.除了3种周期振荡外,CV还有一 种不规则的光变类型称为闪变(flickering),它是一种随机的、非周期性光变,振幅变化 在0.1-0.5 mag之间,时标大约是数十秒到几十分钟<sup>[4]</sup>.

目前,Woudt等人、Warner等人和Pretorius等人在CV的周期振荡方面做了一系列的系统研究<sup>[5-12]</sup>.在观测上,几乎所有CV的亚型都能探测到周期振荡.对于不同亚型

<sup>2019-02-27</sup>收到原稿, 2019-04-08收到修改稿

<sup>\*</sup>云南省自然科学基金项目(2016FB007)资助

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>cypan@ynao.ac.cn

<sup>&</sup>lt;sup>‡</sup>zhibin\_dai@ynao.ac.cn

的CV,其振荡特性也不一样,如矮新星VW Hyi的周期振荡特性比较稳定且连贯,成为 深入研究的对象<sup>[5-6,9,12]</sup>.目前在许多CV中都能观测到周期振荡现象,但还没有统一的 物理模型来解释其产生机制.周期振荡的短时标表明其物理起源可能与致密星的吸积过 程密切相关,近年来已成为研究吸积结构和理论的一个重要途径.本文将具体阐述周期 振荡在不同爆发态、不同亚型CV中的特性以及可能的产生机制.

### 2 CV的周期振荡概述

1979年Robinson等<sup>[13]</sup>根据相干性把CV的周期振荡分为相位相干、周期比较短且 稳定的相干性振荡和相位不相干、周期较长且不稳定的准周期振荡(quasi-periodic oscillation, QPO). 20世纪末期, CV的周期振荡主要包括相干性振荡和准周期振荡. 1981年Patterson<sup>[14]</sup>提出把短周期、高相干的振荡称为矮新星振荡(dwarf nova oscillation, DNO)来区分QPO. 1984年Robinson等<sup>[15]</sup>发现仅凭相干性这一条件并不能很 清晰地区分DNO和QPO. 2004年, Warner<sup>[16]</sup>根据光变的周期,将周期振荡分为DNO、 QPO以及长周期矮新星振荡(longer period dwarf nova oscillation, lpDNO). 因此, CV中 的振荡研究可以分为2个阶段:第1个阶段是70年代到90年代,根据相干性简单地把周期 振荡分为DNO和QPO. 第2个阶段是从2004年至今,人们根据光变的时标来对周期振荡 进行分类,并将以前观测的振荡信号细分为3种类型: DNO、QPO和lpDNO.

#### 2.1 DNO

DNO的光变时标比较短, 典型周期是8-40 s, CV的DNO周期通常少于100 s. 振幅 一般仅有千分之几星等<sup>[16]</sup>. 虽然光学波段DNO的振幅很低, 但是傅里叶变换分析使探 测低振幅的DNO成为可能<sup>[17]</sup>, 偶尔振幅达到0.01 mag量级时可以在光变曲线上直接看 到. DNO是中度相干振荡, 其振幅与系统的轨道倾角没有明显关系. 周期-亮度关系 是DNO的一个普遍特征, DNO的周期(*P*<sub>DNO</sub>)是光学波段亮度(*I*)的双值函数, 在爆发前 后具有等亮度值, 因此爆发时在*P*<sub>DNO</sub> – *I*图上会出现一个弧即香蕉图, 这就是周期-亮 度关系, 如图1所示. 对矮新星而言, 当DNO周期减少, 目标源正处于正常爆发的上升 阶段, 周期增加, 说明是在爆发后的下降阶段. 对于DNO除了光学波段观测外, 在一 些CV (如SS Cyg、U Gem和VW Hyi等)中也对其进行了X射线波段的观测, 研究发现目 标源VW Hyi在爆发下降阶段, X射线波段的亮度也遵循周期-亮度关系<sup>[18]</sup>. 与DNO的光 学波段观测一样, X射线波段的信号脉冲是正弦波, 而且光学和X射线波段的DNO周期 有明显的相似性, 因此人们可以在不同波段来研究DNO.

#### 2.2 QPO

QPO是3种类型中周期最长、相干性最弱的振荡,周期范围大约在50-1000 s<sup>[5]</sup>,相 干时间通常只有几个周期.因此,QPO振荡信号一般很快消失,被另一个不同周期 的QPO所取代,或者产生相位偏移.QPO振荡通常是正弦波,振幅范围比较大,一般在 百分之几到百分之十几星等之间,可以在光变曲线上直接看到,如图2所示.在傅里叶频 谱上以宽范围的频率出现,表现为一个比较宽的包,见图3.

QPO有2个明显不同的光变时标<sup>[16]</sup>.一些目标源如: V422 Oph、V751 Cyg、DW Cnc具有周期高达几千秒的振荡<sup>[19-21]</sup>,这种光变时标比较长的振荡称为千秒量级

的QPO (kilosecond QPO),其周期在750–3000 s之间,振幅最大可达到0.3 mag左右;另 一个是DNO相关的QPO (DNO-related QPO),其周期范围是在50至几百秒间,振幅 是百分之几星等.这种类型的QPO通常与DNO同时出现在目标源中,而且QPO的周 期( $P_{\rm QPO}$ )与DNO存在关系:  $P_{\rm QPO} \approx 15 P_{\rm DNO}$ . Kato等<sup>[22]</sup>在矮新星的亚型SU UMa中发 现振幅变化达到0.2 mag的QPO,于是也把这种振幅变化大于0.2 mag的QPO称为"超 级QPO" (super-QPO).



图 1 矮新星SY CNC相干振荡的周期-亮度关系<sup>[14]</sup>. 横轴表示矮新星SY CNC的相对亮度, 是爆发时的亮度*I*与掩食时 亮度最小值*I*<sub>MIN</sub>之比的常用对数值, 纵轴是相干振荡周期*P*的常用对数值.

Fig. 1 The period-luminosity relationship of coherent oscillations in dwarf novae SY  $CNC^{[14]}$ . The lateral axis represents the relative brightness of dwarf Nova SY CNC, which is the common logarithm value of the ratio between brightness of outburst I and minimum brightness  $I_{MIN}$  at eclipse. The vertical axis is the common logarithm value of coherent oscillation period P.

#### 2.3 lpDNO

lpDNO是Warner等<sup>[7]</sup>新发现的一个振荡类型,Warner<sup>[16]</sup>确定lpDNO的周期范围 为33–177 s. lpDNO与DNO有相同程度的相干性,但不遵循周期-亮度关系,而且lpDNO 的周期( $P_{lpDNO}$ )、振幅都比DNO大.当在一个目标源中lpDNO与DNO或者QPO同时出 现时,则存在关系: $P_{lpDNO} \approx 4P_{DNO}$ , $P_{lpDNO} \approx \frac{1}{4}P_{QPO}$ .lpDNO与DNO最大的差别是 其周期与白矮星的吸积率不存在相关性<sup>[7]</sup>.在新的振荡类型出现前,很多lpDNO信号被 误认为是DNO或QPO.例如:Warner等<sup>[7]</sup>认为在目标源AH Her和HT Cas中发现的周期 为100 s的QPO实际上是lpDNO.lpDNO近年来才被认识,很多理论还需经过更多的观 测事实来验证.



图 2 矮新星WX Hyi的光变曲线显示了周期为185 s的QPO<sup>[16]</sup>. 横轴是观测时间用日心儒略日(HJD)来表示, 纵轴 是V波段的星等. 黑点是观测数据, 黑线是叠加的最小二乘法拟合结果.

Fig. 2 Dwarf novae WX Hyi shows the QPO with a period of 185 s in the light curves<sup>[16]</sup>. The lateral axis is the observation time expressed by heliocentric Julian day (HJD), and the vertical axis is magnitude in V band. The black dots are observation data, and the superimposed black line is the fitting

result of least squares.



图 3 V1193 Ori傅里叶变换频谱图中的宽峰是周期为649-1720 s的QPO<sup>[9]</sup>. 横轴是傅里叶变换后得到的频率, 纵轴表示信号的振幅.

Fig. 3 Fourier transform spectrogram of V1193 Ori appears the QPO as a broad peak at  $649-1720 \text{ s}^{[9]}$ . The lateral axis is the frequency of Fourier transform, the vertical axis represents the amplitude of signal.

### 3 不同类型CV的周期振荡特性

60 卷

CV的5种亚型主要是根据爆发特征来分类,这5种不同的亚型对应不同的物理图景. CV爆发阶段吸积盘温度T可达到 $10^4$  K  $\leq$  T <  $10^6$  K<sup>[23]</sup>,具有热稳定性和粘滞稳定性,是研究吸积过程的"天然实验室".周期振荡是CV的典型特征,研究不同亚型CV的振荡特性对了解CV的吸积物理及致密双星的演化具有重要意义.

对非磁(白矮星磁场小于10<sup>5</sup> Gs) CV来说,当物质从次星的表面经过内拉格朗日点 流向主星时,在其周围形成吸积盘.而对磁CV来说,磁场的存在会阻碍吸积盘的形成, IP的磁场比较弱、磁层半径小,物质从次星表面流向白矮星时在其周围形成吸积帘. Polar的磁场很强直接将次星上的物质捕获,并让其沿着磁力线运动,从磁极落到白矮星 表面形成吸积柱.周期振荡经常出现在爆发态的矮新星和处于高态的类新星中,处于爆 发态或高态的CV,其物质吸积率都比较高.对于有盘的CV来说,振荡周期与吸积盘、吸 积率的变化有关,物质吸积率越高振荡的周期越短.DNO产生的物理过程可能与高物 质转移率和非磁CV相关.而MCV中以QPO为主,说明QPO产生的物理过程可能与磁场 有关.

4 期

#### 3.1 CN与RN

新星又称经典新星.新星最重要的特征是初始亮度快速增加、爆发后亮度缓慢下降以及光谱中吸收线存在蓝移的现象.白矮星表面的热核反应是新星爆发的物理机制,从次星吸积来的物质在白矮星表面不断积累,吸积层底部的温度和密度达到了氢燃烧的条件,开始发生核反应并释放出大量的能量.根据新星爆发后亮度恢复到原始状态的速度又可以细分为不同类型的快新星和慢新星<sup>[24]</sup>.快新星在光变曲线上表现出准周期、大振幅的光变,其物理机制现在还不是很清楚.在新星的有效观测中发现,新星遵循 $A'_{\rm CN} = t_2$ 关系<sup>[18]</sup>,如图4所示.其中 $A'_{\rm CN}$ 是爆发振幅的变化,振幅的最小值为 $m_{\rm min}$ ,最大值为 $m_{\rm max}$ , 有 $A'_{\rm CN} = m_{\rm min} - m_{\rm max}$ ;  $t_2$ 指亮度的最大值下降2个星等所需的时间.



图 4 新星爆发振幅与时间间隔的关系<sup>[18]</sup>. 横轴代表亮度下降2个星等所需时间的常用对数值, 纵轴表示振幅的变化.

Fig. 4 Observed amplitude  $A'_{\rm CN}$  versus  $t_2$  for  ${\rm CN}^{[18]}$ . The lateral axis represents the common logarithm value of the time required for brightness to drop by 2 magnitudes, and the vertical axis represents the change of amplitude.

文献[25-26]指出RR Pic是新星Pictoris 1925的遗迹,也是一个多周期振荡源,振荡周期在20-40 s, Warner<sup>[16]</sup>将其归为DNO.在新星V373 Scuti中发现周期为285 s的DNO<sup>[27]</sup>, 其周期比任何CV观测到DNO的周期还要长.在GK Per中也能观测到DNO,其周期

长达360-380 s<sup>[28-29]</sup>. 新星V2275 Cvg在2003年10月18、19日这2个晚上的数据中,光变 曲线表现出明显的振荡<sup>[30]</sup>,振幅为0.2 mag,周期是20 min左右,这种类型的振荡被认 为是QPO. 这一观测事实支持了短期光变主要是来源非对称旋转的白矮星对亮度再 处理产生的观点(请见4.2.1节),但还需要更多的观测数据来说明. V842 Cen是中速新 星, 在其光变曲线上没有发现DNO, 但出现明显的QPO, 其周期大约是750-1300 s<sup>[27]</sup>. 此外,在一些新星中可以同时探测到DNO和QPO信号,如目标源V533 Her<sup>[7]</sup>. Payne-Gaposchkin<sup>[31]</sup>认为新星中周期以秒为量级的周期振荡与新星的爆发持续时间有关.振 荡特征周期是证明新星由白矮星构成的强有力证据.除了短时标的光变,还有一些新 星在爆发后的亮度下降过程出现周期以天为量级的QPO,如:在目标源V603 Aql中出现 了周期为12 d的QPO, DK Lac出现了周期5 d的QPO<sup>[32]</sup>. 新星的周期振荡特性归纳如 表1所示,从表1中可以看出: DNO和QPO是新星的主要振荡模式. 新星中周期振荡的显 著特性是出现周期大于100 s的DNO, 而QPO主要是以千秒量级的QPO这一类型出现. 目前在新星中,还没有发现lpDNO信号.

Table 1 The list of periodic oscillation characteristics in nova								
Star	Type	$P_{\rm DNO}/{ m s}$	$P_{ m QPO}/ m s$	Reference				
RR Pic	$NB^{a}$	20-40	_b	1-2				
V373 Sct	$\rm NA^{c}$	258.3	-	3				
DQ Her	NA	71.07	-	4–5				
BT Mon	NA	-	1800	6				
V842 Cen	Ν	-	750 - 1300	3				
V2275 Cyg	NA	-	1200	7				
V533 Her	NA	63.63	1400	8				
GK Per	NA	360-380	5000	9–10				

表 1 新星的周期振荡特性列表

<sup>a</sup> represents slow novae.

<sup>b</sup> means this type oscillation has not been detected yet.

<sup>c</sup> represents fast novae.

Reference: (1) Warner<sup>[25]</sup>; (2) Schoembs et al.<sup>[26]</sup>; (3) Woudt et al.<sup>[27]</sup>; (4) Walker<sup>[33]</sup>; (5) Patterson et al.<sup>[34]</sup>; (6) Smith et al.<sup>[35]</sup>; (7) Garnavich et al.<sup>[30]</sup>; (8) Warner et al.<sup>[7]</sup>; (9) Morales-Rueda et al.<sup>[28]</sup>; (10) Nogami et al.<sup>[29]</sup>.

再发新星是指有过2次以上爆发的新星,已发现的再发新星中,次星几乎都是巨星 或者亚巨星.再发新星的爆发时间间隔比较长,一般长达10 yr以上.爆发时振幅变化达 到8-10 mag. RN的平均爆发时间间隔主要取决于观测时间的完整性. 根据轨道周期长 短,再发新星又可分为T Pvx型、U Sco型和T CrB型,这3种类型的再发新星其轨道周 期依次增加. 所有的再发新星(T Pyx型除外)都遵循新星的A'<sub>CN</sub> - t<sub>2</sub>关系, 而满足这个 关系的新星是潜在的再发新星.由此推测,再发新星表现出的周期振荡特性及其产生过 程可能与新星相同. 到目前为止, 在这一亚型中还未观测到周期振荡现象, 但在一些再 发新星如RS Oph和T CrB中能观测到闪变现象.处于宁静态的再发新星RS Oph,在U、

B、V、R、I波段表现出明显的flickering<sup>[36]</sup>,而且对于RS Oph和T CrB这2个再发新星, 当flickering的能量密度达到 $10^{29}$ – $10^{33}$  erg·s<sup>-1</sup>·Å<sup>-1</sup>范围时,flickering的振幅与能量密度 的均方根满足振幅-能量密度(amplitude-rmx)的线性关系<sup>[37]</sup>.

#### 3.2 DN

矮新星每隔10-100 d爆发一次,爆发振幅变化是2-5 mag,是激变变星中研究最广 泛、最多的一个亚型.矮新星具有正常爆发(normal outburst)和超级爆发(superoutburst) 2种爆发态.根据爆发光变曲线特征,矮新星又分为U Gem型、Z Cam型和SU UMa型. U Gem型矮新星与SU UMa型矮新星不仅有正常爆发,还出现更亮、持续时间更长的超 级爆发,它们的区别在于U Gem型在超级爆发的平台期没有超级驼峰,而SU UMa型有 超级驼峰;Z Cam型矮新星爆发后,亮度从最大值下降到某个中间亮度时,将在这个中间 亮度停留几个星期或者几年,在光变曲线上形成一个"平台"(standstill).WZ Sge型矮 新星是一类比较特别的CV,该类型星有比SU UMa型矮新星更剧烈的超级爆发,但没有 正常爆发.

矮新星的振荡行为主要发生在爆发阶段, 与吸积过程的高物质转移率相关. 然而有些目标源如OY Car在宁静态的时候光变曲线也表现出振荡特性<sup>[7]</sup>. 调研发现U Gem型矮新星在正常爆发过程中光变曲线有明显的周期振荡特征, 振荡类型主要是DNO和lpDNO. 少数的目标源如SS Cyg在正常爆发时可以观测到QPO<sup>[13]</sup>. 与U Gem型矮新星相同的是, Z Cam型矮新星的周期振荡主要发生在爆发过程, 且都以DNO和lpDNO这2种类型为主. 对SU UMa型矮新星来说, 正常爆发和超级爆发过程都可以观测到周期振荡现象. 总的来说, 对矮新星而言其表现出的周期振荡特性主要是DNO和QPO, 在个别矮新星如VW Hyi中会出现lpDNO. 表2给出了已观测到振荡特性的一部分矮新星.

一般来说, 矮新星的振荡现象通常出现在正常爆发过程的上升阶段, 经过最大值后, 在正常爆发的后期(下降阶段) DNO就消失了. 有一些特殊情况, 如AH Her在正常爆发的 前后都出现了DNO<sup>[47]</sup>. 在目标源KT Per的某次爆发过程中探测到了DNO, 但在下一次 爆发并没有出现. 1975年该源发生2次正常爆发且都出现了周期为22.5-29.5 s的DNO<sup>[44]</sup>, Robinson等<sup>[13]</sup>在1976年11月观测到了KT Per的正常爆发过程,却没有发现DNO.

#### 3.3 NL

类新星是一类至今尚未观测到爆发活动的激变变星,但存在高态和低态2种亮度状态,通常有几个星等的变化,与新星有类似的光学特征.人们根据光谱和测光特性,又把 类新星分为UX UMa型、RW Tri型、SW Sex型和VY Scl型.UX UMa型和RW Tri型是 根据光谱特征区分的2个类型,UX UMa型类新星的光谱除了发射线外,还有持续的宽巴 尔末吸收线; RW Tri型类新星的光谱不仅有发射线,还有窄的吸收线.此外,这2个类型 的类新星其轨道倾角也存在明显差别,UX UMa型轨道倾角比RW Tri型低.SW Sex型 是所有类型的类新星中轨道倾角最高的,而且它们大部分都是高轨道倾角系统<sup>[48]</sup>,轨道 周期Porb的典型值在3h < Porb < 4h之间.VY Scl型类新星的特征与UX UMa型相同, 区别在于VY Scl型类新星持续处于高态时,会发生亮度下降的情况,变为低态,低态VY Scl型类新星的特性与处在宁静态的矮新星相同.VY Scl型类新星从高态到低态的变化, 表 2 矮新星的周期振荡特性列表

Table 2         The list of periodic oscillation characteristics in dwarf novae							
Star	Type	$P_{\rm DNO}/{ m s}$	$P_{ m lpDNO}/ m s$	$P_{\rm QPO}/{ m s}$	state	Reference	
U Gem	$\mathrm{UG}^{\mathrm{a}}$	$\sim 25$	73–146	-	$\mathrm{NO}^{\mathrm{d}}$	1-2	
SS Cyg	UG	6.58 - 10.9	32	730	NO	1, 3-4	
X Leo	UG	89–160	-	-	NO	5	
AG Hya	UG	21.55	-	-	NO	5	
TW Vir	UG	112 - 121	-	$\sim 1000$	NO	6	
Z Cam	$\mathrm{UGZ}^\mathrm{b}$	16.0-08.8	-	-	NO	7	
AH Her	UGZ	24.0 - 38.8	$\sim 100$	-	NO	8–9	
SY CNC	UGZ	23.3 - 33.0	-	-	NO	8–9	
RX And	UGZ	$\sim 36$	-	-	NOD	10 - 11	
EM Cyg	UGZ	14.6 - 21.2	-	-	ANO	8–9	
HX Peg	UGZ	16.22 - 16.39	83.4/112.3	1400 - 1900	$\rm ANO^{e},\rm NOD^{f}$	10	
				347/746	NO	5	
KT Per	UGZ	22.4 - 29.3	82–147	-	NO	1, 12 - 13	
HT Cas	$\mathrm{UGSU^{c}}$	20.2 - 20.4	-	100	NO	8	
YZ Cnc	UGSU	-	-	$\sim 90$	$\mathrm{SO}^{\mathrm{g}}$	8	
VW Hyi	UGSU	14.03-40	90	400-600	NO, SO	14, 10	
WX Cet	UGSU	17.4	-	-	SO	15, 3	
OY Car	UGSU	19.4,  28.0	-	338/297/281	SO	10	
WX Hyi	UGSU	19.4	-	1140/1560	NO	10	
V436 Cen	UGSU	19.5 - 20.1	-	475	SO	14, 10	

与矮新星从爆发态下降到某个中间亮度状态的时候停滞一段时间的行为相似.

<sup>a</sup> represents U Gem type dwarf nova.

 $^{\rm b}$  represents Z Cam type dwarf nova.

<sup>c</sup> represents SU UMa type dwarf nova.

 $^{\rm d}$  means normal outburst.

<sup>e</sup> means ascending branch of normal outburst.

<sup>f</sup> means normal outburst decline state.

<sup>g</sup> means super outburst.

Reference: (1) Robinson et al.<sup>[13]</sup>; (2) Córdova et al.<sup>[38]</sup>; (3) Warner<sup>[16]</sup>; (4) Horne et al.<sup>[39]</sup>; (5) Pretorius et al.<sup>[9]</sup>; (6) Pretorius<sup>[40]</sup>; (7) Warner et al.<sup>[41]</sup>; (8) Patterson<sup>[14]</sup>; (9) Nevo et al.<sup>[42]</sup>; (10) Warner et al.<sup>[7]</sup>; (11) Szkody<sup>[43]</sup>; (12) Nevo et al.<sup>[44]</sup>; (13) Robinson<sup>[45]</sup>; (14) Warner et al.<sup>[6]</sup>; (15) Sterken et al.<sup>[46]</sup>.

在类新星的光变曲线中DNO和QPO是比较显著的特性,而且DNO是间歇性存在的. 在UX UMa、HL Aqr和V3885 Sgr中观测到的DNO的周期比较短<sup>[41, 48-49]</sup>,在30 s的范 围内. Knigge等<sup>[50]</sup>认为振荡周期应该由动力学时标的吸积物理过程来定义,因为热时标 和核时标都比典型的DNO周期(几十秒)长. 在VY Scl型类新星中很少观测到DNO. 出现 千秒量级的QPO几乎都是SW Sex型类新星,在其他类型的类新星中很少能看到. 丁月 蓉等<sup>[51]</sup>利用谱分析的CLEAN方法在目标源TT Ari中发现了周期为1200 s的QPO并给 出了可能的物理解释. 文献[52]用间隙时间序列分析方法对V795 Her进行了短周期的振 荡分析,发现频谱图中有2个明显的尖峰,信号周期分别为265.91 s和116.70 s. 对这2个尖 峰是否是真实的振荡信号还没有定论,但在该研究中没有探测到1160 s和1310 s的振荡, 这可能是由于数据时长比较短,探测不到周期较长的QPO. 表3列出部分类新星的周期 振荡特性.

Table 3 The list of periodic oscillation characteristics in nova-like								
Star	Type	$P_{\rm DNO}/{ m s}$	$P_{ m QPO}/ m s$	Reference				
UX UMa	$UX^{a}$	28.5 - 30	$\sim 650$	1–3				
HL Aqr	UX	19.6	-	4				
IX Vel	UX	24.6 - 29.1	$\sim 500$	5-6				
TT Ari	$\rm UX/VY^b$	-	900 - 1600	7–8				
MV Lyr	UX/VY	-	$\sim 3000$	9–10				
$V3885 \ Sgr$	UX	29-32	-	11				
RW Sex	UX	-	620/1280	12				
V1193 Ori	UX	-	649 - 1720	13				
LX Ser	RW9VY	$\sim 140$	-	14				
KR Aur	RW/VY	-	400-900	15				
V795 Her	$\mathrm{SW}^\mathrm{d}$	-	$\sim \! 1160/1310.2$	16 - 17				
DW UMa	SW	-	2375/2974	17				
V442  Oph	SW	-	1000	17				
RX J1643.7+	3402 SW	-	1000	17				

表 3 类新星的周期振荡特性列表

<sup>a</sup> represents UX UMa type nova-like.

<sup>b</sup> represents VY Scl type nova-like.

<sup>c</sup> represents RW Tri type nova-like.

<sup>d</sup> represents SW Sex type nova-like.

Reference: (1) Warner et al.<sup>[41]</sup>; (2) Knigge et al.<sup>[50]</sup>; (3) Nather et al.<sup>[53]</sup>; (4) Haefner et al.<sup>[48]</sup>; (5) Williams et al.<sup>[54]</sup>; (6) Warner et al.<sup>[55]</sup>; (7) Kraicheva et al.<sup>[56]</sup>; (8) Tremko et al.<sup>[57]</sup>; (9) Kraicheva et al.<sup>[58]</sup>; (10) Borisov<sup>[59]</sup>; (11) Hesser et al.<sup>[49]</sup>; (12) Hesser et al.<sup>[60]</sup>; (13) Pretorius et al.<sup>[9]</sup>; (14) Eason et al.<sup>[61]</sup>; (15) Kato et al.<sup>[62]</sup>; (16) Patterson et al.<sup>[63]</sup>; (17) Patterson et al.<sup>[19]</sup>.

#### 3.4 Polar

以上4种类型的激变变星其白矮星的磁场强度都低于10<sup>5</sup> Gs. 而高偏振星磁场强度 很强,可达10<sup>7</sup> Gs<sup>[64]</sup>,是由一个同步自旋的强磁白矮星组成的CV系统. AM Her是第1个 被发现的高偏振星,因此高偏振星也可称为AM Her星. 该类型星的特点是光谱有明显 的氦发射线,在光学波段表现出较高的偏振度.

在AM Her星的光变曲线中经常可以看到周期振荡现象. 这些振荡主要是QPO. 除 常见的周期为10 s到几分钟的QPO外,还包括只在强磁场的高偏振星中出现且时标很 短的QPO. Middleditch<sup>[65]</sup>把这种变化时标超短的光变类型叫做"noisar",时标范围在1-3 s左右. Noisar振荡信号周期比3种类型振荡中周期最短的DNO还短,这正是Polar振荡 特性的特殊之处. 在目标源AN UMa、EF Eri、VV Pup和V834 Cen中都发现了周期1-3 s的QPO<sup>[66-69]</sup>.目前,一个成熟的模型即驱动激波模型可以比较好地解释"noisar"<sup>[70]</sup>. 该模型认为光变调制是由非稳定的吸积流引起激波振荡的结果,理论计算表明,当吸 积率恒定时, 白矮星不能维持激波振荡, 非稳态的吸积流辐射激波可以产生时标很短 的QPO. AM Her型星除了超短时标的"noisar",在很多Polar中也能观测到常见的QPO. 如目标源HP Lib在很多个晚上的光变曲线中都表现出了周期大约为300 s的QPO<sup>[18]</sup>.在 目标源CR Boo中探测到了所有类型的周期振荡,分别是20 s的DNO、61.9 s的lpDNO以 及300 s的QPO<sup>[7]</sup>. 周期为176 s的lpDNO在V803 Cen中观测到. 高偏振星的QPO有以下 性质: (1) QPO与回旋辐射区域有明显的联系, 而且QPO的振幅会随着辐射强度的变弱 而减小甚至消失. (2)最大功率处的QPO对应的频率与磁场强度呈现出线性关系. 频率 随着磁场强度增强而增大; (3)对Polar来说, 从次星吸积过来的不均匀物质在白矮星表面 形成的吸积柱可以同时产生很多不同周期的振荡.

#### 3.5 IP

中介偏振星的白矮星磁场强度介于高偏振星和非磁CV之间,是由一个非同步自旋的磁白矮星和一个红矮星组成的双星系统.因此,在物质交流过程中,当物质流沿着磁力线落到白矮星磁极上时,会产生类似灯塔的效应.在观测上表现为光学脉冲或者X射线脉冲.目标源DQ Her是第1个发现的IP,所以中介偏振星又叫DQ Her型星.

DQ Her型星的振荡特性以QPO类型振荡为主,还没有在该类型星中测到DNO信号.目标源DQ Her最显著的特征是光变曲线上出现了71 s的振荡<sup>[34,71]</sup>,而且其线偏振和圆偏振存在周期为142 s的调制, Zhang等<sup>[72]</sup>认为这个71 s的信号可能是白矮星自旋频率的一次谐波.QPO的周期是变化的,以TT Ari为例,在超过25 yr的时间里,观测到千秒量级的QPO的周期从27 min持续下降到15 min<sup>[73]</sup>. Andronov等<sup>[74]</sup>在对这一亚型中的一个目标源DO Dra进行研究时,发现了一种特殊的光变振荡类型,并将其称为暂态周期性振荡(transient periodic oscillation, TPO).这种振荡类型是在目标源处于中间态(介于宁静态和爆发态之间)中观测到的,它与QPO存在明显的区别.暂态周期性振荡的振幅是变化的,没有单调性,但是其相位相对QPO来说是基本不变或者说是变化很小的.TPO被认为是距离为 $R_{cloud} = 2.28R_{A}$ ,且围绕白矮星旋转的被高温白矮星照亮的吸积物质(bright cloud)受到白矮星旋转磁层干扰而产生,其中 $R_{cloud}$ 是吸积物质的位置,  $R_{A}$ 是阿尔文半径.

### 4 CV中不同类型周期振荡的产生机制

从振荡的光变时标和相干性来看,时标较短、相干程度较高的DNO和lpDNO很有可能起源于吸积盘内盘或者白矮星,而吸积盘被认为与QPO的起源相关.李宗云等<sup>[4]</sup>曾对激变变星的闪变、相干振荡和QPO进行过研究,给出了它们可能的产生机制.在此基础上,本文将结合CV的结构来介绍3种周期振荡产生的物理过程.

#### 4.1 矮新星振荡

DNO相对稳定且周期短,所有的DNO模型都应该符合白矮星的重力时标 $\tau_G \sim 1/\sqrt{Gp}$ ,其中G是万有引力常数,p是白矮星的平均密度,以满足DNO的周期时标.虽然DNO总是表现出高稳定性,但是也存在周期、相位和振幅快速变化的情况,这反映了产生DNO背后物理结构的快速变化.DNO的振幅与CV的轨道倾角不存在相关性,不管是在低轨道倾角还是高轨道倾角的CV中,DNO都会表现出它们能达到的最高振幅.

#### 4.1.1 白矮星脉动

Warner等<sup>[41]</sup>第1次提出用非径向g模式的白矮星脉动来解释DNO.因为白矮星非径向脉动的周期在10-40 s之间,与振荡周期时标在量级上相当,而且还存在周期-亮度关系<sup>[75]</sup>.Bath等<sup>[76]</sup>认为这个模型要求主星的自转速度较慢,而根据矮新星吸积率来估计白矮星是一个自转很快的主星.矮新星中的白矮星处在吸积盘的中心,光学波段以及X射线波段的观测技术不能通过很厚的吸积盘来直接探测得到白矮星的自转周期或速度,只能依赖于吸积模型从而间接得到它的自转信息,而这种间接估计法得到的结果往往存在较大的误差,所以目前的观测可能不支持用白矮星脉动的g模式来解释DNO. Papaloizou等<sup>[77-78]</sup>则提出通过与盘的相互作用可以激发快速旋转白矮星的脉动,从而产生DNO以及QPO的相干周期.考虑到DNO周期变化的时标,白矮星的脉动只涉及到最外层.在爆发过程中,如果最外层的平均自转速度是由物质吸积率和外层角动量转移到白矮星的速率决定,则可能导致观测到的周期-亮度关系<sup>[40]</sup>.

#### 4.1.2 吸积盘脉动

人们认为吸积盘脉动也可能是导致DNO和QPO的原因. 双星中2个子星相互绕转造成吸积盘的反射和遮挡,因此吸积盘的脉动可以通过反射、遮挡以及吸积盘内区边缘吸积流的不稳定性等方式来调节系统的亮度<sup>[79]</sup>. Abramowicz等<sup>[80]</sup>在研究轴对称扰动厚吸积盘的局部稳定性时,发现了类似于恒星p-和g-模式的振荡. Carroll等<sup>[81]</sup>对吸积盘进行非轴对称的局部扰动分析(忽略吸积盘的粘滞性、非绝热性以及子午流的影响),得到3个不同时标的振荡,这3组不同时标的振荡中包括了DNO和QPO. 由于圆盘的脉动不局限于某一特定环面,振荡功率在能谱图上表现为较宽的频率范围,不能够解释DNO的相干特性<sup>[82]</sup>.

#### 4.1.3 吸积盘上的热斑

Bath<sup>[83]</sup>首先指出了DNO的周期范围与白矮星附近吸积盘中物质流的开普勒周期相似. 热斑(hotspot)是在吸积盘上由湍流不稳定或者物质流与吸积盘的相互作用产生的. Pretorius<sup>[40]</sup>认为热斑以开普勒速度围绕白矮星运动,周期性地被白矮星或者吸积盘遮挡,发生亮度调制,产生DNO. 由于较差自转和冷却,热斑会逐渐消失,并可能被在不同半径处一个新的亮斑取代,这就导致了相位或者周期的变化. 如果热斑是在磁层半径处

产生,可以认为周期-亮度关系是由于物质转移率的变化导致.但对于目标源SY CNC来 说,该模型难以解释大振幅和长周期的DNO<sup>[45]</sup>.

#### 4.1.4 低惯性磁吸积模型

有观测证据表明, VW Hyi爆发后存在一个热的赤道吸积带, 其旋转速度比白矮星 还快<sup>[84]</sup>. 矮新星的爆发过程中, 在白矮星赤道附近形成一个吸积物质的表层称为赤道 带(equatorial belt). 赤道带的质量 $M_b \sim 10^{-10} M_{\odot}$ , 大约是一次爆发吸积的物质质量<sup>[40]</sup>. 赤道带是由角动量比较高的物质组成, 所以在低磁场的激变变星系统中, 赤道带的旋转 角速度比白矮星大. 相对磁心的旋转会产生一个"发电机"作用, 可以将低磁场强度放大 到足以控制吸积流的程度<sup>[6, 85]</sup>, 通过磁力线引导到赤道带上的盘物质将以与中介偏振 星类似的方式形成"微型"吸积帘. 矮新星中的白矮星与吸积盘之间存在很窄的区域即 边界层(boundary layer), 在这个区域产生的磁发电机过程只在理论模型上给出, 不能被 观测到. 随着大口径以及高分辨率望远镜的使用, 该微型结构在未来可以被人们观测 到. Warner等<sup>[6]</sup>指出对于磁场很弱(小于10<sup>5</sup> Gs)不能发生刚体旋转运动的白矮星都会受 到这个过程的影响, 也只有磁场强度增强并能够控制吸积流的系统才能通过这个过程看 到DNO. 在这个模型中, 观测到的DNO就代表赤道带的自旋, 赤道带的转动惯量比较低, 导致DNO的周期变化, 所以观测到的信号是准周期性的.

#### 4.2 准周期振荡

自从发现QPO,大多数人认为它们起源于吸积盘. Robinson等<sup>[13]</sup>根据周期时标来判断,认为QPO不是由次星引起,而且QPO有较低的相干性,也排除其起源可能是主星白矮星,因此认为QPO必然是由吸积盘产生的. CV中QPO种类多样,由多种机制产生,很难用单一的物理机制来解释.

#### 4.2.1 DNO相关的QPO

Lubow等<sup>[86]</sup>认为此类型QPO是由非对称g模式的吸积盘脉动引起的,其在内盘具有 最佳的传播特性. 这种脉动可能是吸积内盘受到白矮星磁场的作用而激发产生的, 主要 包括了吸积盘上某个选定的环面在垂直方向上增厚以及突起(bulge). 由于角速度小于 开普勒角速度,在惯性系中沿着与吸积盘旋转相反的方向传播. Okuda等<sup>[23]</sup>用盘的径向 振荡来解释周期为80-400 s的QPO,认为吸积盘的径向振荡激发机制主要与吸积盘粘滞 的热力学和动力学过程相关. Collins等<sup>[87]</sup>认为激变变星的边界层(介于吸积盘和白矮星 之间狭窄的区域)中物质流不稳定,其能量耗散与开普勒吸积盘的能量耗散相当,可以为 振荡提供强大的驱动能量. Patterson<sup>[88]</sup>根据QPO可能起源于吸积盘以及周期关系这2个 依据给出斑点盘模型(blobby disk model). 该模型认为在吸积盘上由于某种不稳定性产 生了气体团(blobs), blobs绕白矮星运动,只有几个周期的寿命.如果blobs自身可以发光, 在其开普勒旋转周期内就可以产生QPO<sup>[83]</sup>.针对blobs靠反射来自白矮星的辐射来发 亮的情况, Patterson<sup>[88]</sup>提出了非对称旋转白矮星模型(oblique ratator model), 如图5所 示. 该模型要求白矮星的磁场大于10<sup>6</sup> Gs, 图5中的阴影部分是吸积盘内边缘和吸积柱, N表示白矮星的磁轴的北极, S是白矮星磁轴的南极, 这2个磁极对观测者呈现出不同的 相位,旋转轴垂直于吸积盘,吸积盘内侧受到南北极的激发对观测者来说是可见的.磁 层半径和产生QPO的半径这两个参数将非对称旋转白矮星模型和斑点盘模型联系起来,

并将两个模型合并来解释QPO. 在磁层边缘的轨道上产生的反射效应可能会产生QPO, blobs在冷却或因剪切过程破坏之前受到吸积白矮星产生的高能热辐射的照射后, 经过 吸收和再发射可以产生光学QPO.



Fig. 5 The oblique rotator model AE Aqr<sup>[88]</sup>

#### 4.2.2 千秒量级的QPO

60 卷

在SW Sex型类新星中观测到千秒量级的QPO很有可能就是磁白矮星的自转<sup>[19, 89]</sup>. 这类型星可认为是IP,在这些系统中,QPO的周期与白矮星的自转周期很接近,所以白 矮星稳定的自转信号被认为是QPO<sup>[40]</sup>.例如:在DQ Her中白矮星的自转是严格的周期 信号且周期是33 s,在高物质转移率的状态下,33 s的振荡表现为接近35 s的QPO<sup>[63, 88]</sup>. 高吸积率的物质流可以加快或者减慢白矮星的自转速度,这可能解释了为什么观测 到的振荡是准周期的.有迹象表明,周期性信号可能是QPO的基础. Kato等<sup>[22]</sup>发现超 级QPO只出现在SU UMa型矮新星的超级爆发过程,于是认为超级QPO的起源可能与 超级爆发的激发机制相关.

#### 4.3 长周期矮新星振荡

Warner等<sup>[90]</sup>指出DNO和lpDNO的行为相互独立,既可单独出现也能共存.Warner等<sup>[7]</sup>在对目标源VW Hyi进行研究时发现了lpDNO的周期可能与白矮星的自旋有关,认为lpDNO反映的是非磁白矮星的自旋,所以在白矮星的2个磁极区域以及赤道带有物质吸积过程发生,并解释lpDNO产生与吸积区域的磁引导吸积(magnetically channlled accretion)过程有关.lpDNO具有对吸积光度不敏感的性质,在宁静态的矮新星中也能观测到,这就解释了为什么lpDNO的周期与吸积率不成比例,与DNO相互独立的行为.白矮星赤道上的角动量沿径向和纬度方向不相同,导致白矮星的外层以不同的方式旋转,吸积区域可能并不总是具有完全相同的角速度,因此lpDNO表现出准周期性.

### 5 总结与展望

在大部分CV中都会出现周期振荡现象,这3种振荡可能反映出的白矮星自旋的性质 或者吸积盘的结构等信息. 有关DNO和QPO的研究比较多,因此对这2种类型振荡了解 更深,而lpDNO是新发现的一个类型,还需要更多的观测和数据来验证现有的理论. 在 讨论周期振荡产生的原因时,人们根据振荡的特性提出了基于白矮星脉动、吸积盘脉动 和吸积盘热斑等很多的物理模型. 由于振荡相位、振幅和周期的变化,很难用单一的物 理模型来解释.

目前,对于CV的周期振荡研究还不够全面,还存在有待解决问题:如果振荡时标刚好落在2种类型振荡之间,我们很难单纯根据时标界定其到底属于什么类型. 但可以从振荡现象的时标以及在哪种类型的CV出现得到一些启示如:时标比较短的DNO和lpDNO起源可能与白矮星有关,而QPO主要出现在MCV中则可能与磁场相关.

CV中的很多振荡现象在X射线双星中也会出现,最常见的是QPO这一类型的振荡, 高频波段的X射线QPO表现出的性质更像CV中的DNO.X射线双星的QPO与CV具有一 定的相似性,这对理解白矮星和中子星的磁场以及吸积过程具有重要的意义.CV的周期 性振荡除了在光学波段能观测到外,在其他波段如X射线波段也会出现.光学和X射线 等其他波段数据的结合有助于我们更加全面地了解振荡现象的形成和演化.

#### 参考文献

- [1] Warner B. The Cataclysmic Variables. Cambridge: Cambridge University Press, 1995
- [2] Mikolajewski M, Mikolajewska J, Khudyakova T N. A&A, 1990, 235: 219
- [3] Belloni T, Psaltis D, van der Klis M. ApJ, 2002, 572: 392
- [4] 李宗云, 丁月蓉. 天文学进展, 1996, 14: 139
- [5] Woudt P A, Warner B. MNRAS, 2002, 333: 411
- [6] Warner B, Woudt P A. MNRAS, 2002, 335: 84
- [7] Warner B, Woudt P A, Pretorius M L. MNRAS, 2003, 344: 1193
- [8] Warner B, Woudt P A. MNRAS, 2006, 367: 1562
- [9] Pretorius M L, Warner B, Woudt P A. MNRAS, 2006, 368: 361
- [10] Warner B, Pretorius M L. MNRAS, 2008, 383: 1469
- $\left[11\right]$ Woudt P<br/> A, Warner B. MNRAS, 2009, 400: 835
- $\left[12\right]$ Woudt P<br/> A, Warner B, O'Donoghue D, et al. MNRAS, 2010, 401: 500
- $[13]\ {\rm Robinson} \to {\rm L},$  Nather R E. ApJS, 1979, 39: 461
- [14] Patterson J. ApJS, 1981, 45: 517
- [15] Robinson E L, Warner B. ApJ, 1984, 277: 250
- [16] Warner B. PASP, 2004, 116: 115
- [17] Patterson J, Robinson E L, Kiplinger A L. ApJ, 1978, 226: L137
- [18] Warner B. Cataclysmic Variable Stars. Cambridge: Cambridge University Press, 2003: 266
- [19] Patterson J, Fenton W H, Thorstensen J R, et al. PASP, 2002, 114: 1364
- [20] Patterson J, Thorstensen J R, Fried R, et al. PASP, 2001, 113: 72
- [21] Uemura Y, Kato T, Ishioka R, et al. PASJ, 2002, 54: 299
- [22] Kato T, Hirata R, Mineshige S. PASJ, 1992, 44: L215
- [23] Okuda T, Ono K, Tabata M, et al. MNRAS, 1992, 254: 427
- [24] Payne-Gaposchkin C. The Galactic Novae. Amsterdam: North-Holland, 1957

- [25] Warner B. MNRAS, 1981, 195: 101
- [26] Schoembs R, Stolz B. IBVS, 1981, 1986: 1
- [27] Woudt P A, Warner B. MNRAS, 2003, 340: 1011
- [28] Morales-Rueda L, Still M D, Roche P. MNRAS, 1999, 306: 753
- [29] Nogami D, Baba H, Kato T, et al. PASJ, 1998, 50: 297
- $[30]\,$ Garnavich P M, MacDonald A J, Wu B, et al. IBVS, 2004, 5519: 1
- $[31]\,$  Payne-Gaposchkin C. AJ, 1977, 82: 665
- [32] McLaughlin D B. Stars and Stellar Systems. Chicago: University of Chicago Press, 1960
- [33] Walker M F. AJ, 1958, 127: 319
- [34] Patterson J, Robinson E L, Nather R E. ApJ, 1978, 224: 570
- [35] Smith D A, Dhillon V S, Marsh T R. MNRAS, 1998, 296: 465
- [36] Zamanov R, Latev G, Boeva S, et al. MNRAS, 2015, 450: 3958
- [37] Zamanov R K, Boeva, S, Latev G, et al. MNRAS, 2016, 457: L10
- [38] Córdova F A, Chester T J, Mason K O, et al. ApJ, 1984, 278: 739
- $[39]\,$  Horne K, Gomer R. ApJ, 1980, 237: 845
- [40] Pretorius M L. Rapid Oscillations in Cataclysmic Variable Stars. Cape Town: University of Cape Town, 2004
- [41] Warner B, Robinson E L. NPhS, 1972, 239: 2
- [42] Nevo I, Sadeh D. MNRAS, 1978, 182: 595
- [43] Szkody P. ApJ, 1976, 207: 190
- [44] Nevo I, Sadeh D. MNRAS, 1976, 177: 167
- [45] Robinson E L. ApJ, 1973, 183: 193
- [46] Sterken C, Vogt N, Uemura M, et al. The Journal of Astronomical Data, 2005, 11: 1S
- [47] Hildebrand R H, Spillar E J, Middleditch J, et al. ApJ, 1980, 238: L145
- [48] Haefner R, Schoembs R. MNRAS, 1987, 224: 231
- [49] Hesser J E, Lasker B M, Osmer P S. ApJ, 1974, 189: 315
- [50] Knigge C, Drake N, Long K S, et al. ApJ, 1998, 499: 429
- [51] 丁月蓉, 李宗云. 天文学报, 1999, 40: 165
- [52] 丁月蓉, 赵海斌, 李宗云. 天文学报, 1997, 38: 426
- [53] Nather R E, Robinson E L. ApJ, 1974, 190: 637
- [54] Williams G A, Hiltner W A. MNRAS, 1984, 211: 629
- [55] Warner B, O'Donoghue D, Allen S. MNRAS, 1985, 212: 9P
- [56] Kraicheva Z, Stanishev V, Genkov V, et al. A&A, 1999, 351: 607
- [57] Tremko J, Andronov I L, Chinarova L L, et al. A&A, 1996, 312: 121
- [58] Kraicheva Z, Stanishev V, Genkov V. A&AS, 1999, 134: 263
- [59] Borisov G V. A&A, 1992, 261: 154
- [60] Hesser J E, Lasker B M, Osmer P S. ApJ, 1972, 176: L31
- [61] Eason E L E, Worden S P, Klimke A, et al. PASP, 1984, 96: 372
- [62] Kato T, Ishioka R, Uemura M. PASJ, 2002, 54: 1033
- [63] Patterson J, Skillman D R. PASP, 1994, 106: 1141
- [64] Hellier C. Cataclysmic Variable Stars: How and Why They Vary. Chichester: Praxis Publishing, 2001: 111
- [65] Middleditch J. ApJ, 1982, 257: L71
- [66] Krzeminski W, Serkowski K. ApJ, 1977, 216: L45
- [67] Ramseyer T F, Robinson E L, Zhang E, et al. MNRAS, 1993, 260: 209
- [68] Larsson S. A&A, 1987, 181: L15
- [69] Larsson S. A&A, 1989, 217: 146
- [70] Wolff T W, Wood K S, Imamura J N. ApJ, 1991, 375: L31
- [71] Warner B, Peters W L, Hubbard W B, et al. MNRAS, 1972, 159: 321
- [72] Zhang E, Robinson E L, Stiening R F, et al. ApJ, 1995, 454, 447

- [73] Semeniuk I, Schwarzenberg-Czerny A, Duerbeck H, et al. Ap&SS, 1987, 130: 167
- [74] Andronov I L, Chinarova L L, Han W, et al. A&A, 2008, 486: 855
- [75] Brickhill A J, Warner B. MNRAS, 1975, 170: 405
- [76] Bath G T, Evans W D, Papaloizou J, et al. MNRAS, 1974, 169: 447
- [77] Papaloizou J, Pringle J E. MNRAS, 1978, 182: 423
- [78] Papaloizou J C, Pringle J E. MNRAS, 1980, 190: 43
- [79] Córdova F A, Chester T J, Tuohy I R, et al. ApJ, 1980, 235: 163
- [80] Abramowicz M A, Livio M, Piran T, et al. ApJ, 1984, 279: 367
- [81] Carroll B W, McDermott P N, Savedoff M P, et al. ApJ, 1985, 296: 529
- $[82]\,$ van Horn H M, Wesemael F, Winget D E. ApJ, 1980, 235: L143
- [83] Bath G T. NPhS, 1973, 246: 84
- [84]~ Sion E M, Cheng F H, Huang M, et al. ApJ, 1996, 471: L41
- $[85]\;$  King A R. Nature, 1985, 313: 291
- $[86]\,$  Lubow S H, Pringle J E. ApJ, 1993, 409: 360
- $[87]\,$ Collins T<br/> J B, Helfer H L, van Horn H M. ApJ, 2000, 534: 944
- [88] Patterson J. ApJ, 1979, 234: 978
- $[89]\,$  Hoard D W, Szkody P, Froning C S, et al. AJ, 2003, 126: 2473
- [90] Warner B, Woudt P A. ASP Conference Series, 2005, 330: 227

## Investigations on the Observations of Three Types of Periodic Oscillations in Cataclysmic Variables

PAN Cui-yun<sup>1,2</sup> DAI Zhi-bin<sup>1</sup>

(1 Yunnan Observatories, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011) (2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**ABSTRACT** The typical characteristics of cataclysmic variables (CVs) are three types of periodic oscillations, referring to the rapid quasi-periodic changes of luminosity. With the different time scales and coherences, there are dwarf nova oscillations (DNOs), quasiperiodic oscillations (QPOs), and longer period dwarf nova oscillations (lpDNOs). A general description of the characteristics and observational features of the three types of periodic oscillations can be found in this paper. The presence of quasi-periodic variations in the light curves may provide abundant information and clues for the study of white dwarf accretion. QPOs are the prominent oscillation type of magnetic CVs, so it is speculated that the origin may be related to magnetic field. Because of the short time scale of DNOs and lpDNOs, they are considered to originate from white dwarf itself. In addition to optical, three types of oscillations can also be observed in X-ray and ultraviolet. The data observations of different wavelengths are helpful to understand the formation of these oscillations more comprehensively.

**Key words** cataclysmic variables, dwarf nova oscillations, quasi-periodic oscillations, longer period dwarf nova oscillations, accretion

35 - 16