

中子星中心致密天体的双星起源*

刁振琪[†] 王德华 叶长青

(贵州师范大学物理与电子科学学院 贵阳 550025)

摘要 探讨了认为中心致密天体(CCO)起源于双星的可能性. 首先, CCO与正常遗迹脉冲星有着相似的平均自旋周期, 但CCO的平均表面磁场强度($B \sim 5.4 \times 10^{10}$ Gs)低于正常遗迹脉冲星($B \sim 7.7 \times 10^{12}$ Gs)~ 2个量级. 同时, 几乎所有的正常遗迹脉冲星均分布在爱丁顿吸积加速线以上, 而CCO全部分布在自旋加速线以下. 因此怀疑CCO可能起源于双星吸积加速过程. 其次, 基于中子星再加速理论, 分析了CCO可能的双星演化过程: 双星系统中, CCO以 $\dot{M} \sim 10^{17} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ 的吸积率, 经过 $\sim 10^6 \text{ yr}$ 的时间共吸积 $\Delta M \sim 10^{-2} M_{\odot}$ 的物质, 其自旋周期将会从 $P \sim 10 \text{ s}$ 降低至 $P \sim 0.1 \text{ s}$, 表面磁场强度将会从 $B \sim 10^{12} \text{ Gs}$ 降低至 $B \sim 10^{10} \text{ Gs}$. 考虑到 $\sim 10^6 \text{ yr}$ 的演化时标远大于CCO遗迹的年龄($\sim 0.3\text{--}7 \text{ kyr}$), 猜想CCO可能是双星系统中第1颗恒星超新星爆发的产物, 而第2颗恒星超新星爆发后双星解体, 留下CCO和第2颗恒星的超新星遗迹. 该模型预言在CCO附近可能存在一颗年轻的正常脉冲星($P \sim 0.02 \text{ s}$, $B \sim 10^{12} \text{ Gs}$), 并期望未来的射电望远镜和高能探测器能够进行搜寻.

关键词 恒星: 中子, 脉冲星: 普通, 中心致密天体, 双星: 普通

中图分类号: P142; **文献标识码**: A

1 引言

近二十年以来, 高能卫星在年轻的超新星遗迹(Supernova Remnant, SNR)中心发现了一些孤立的点源, 这些源被进一步证实是区别于活跃的射电脉冲星或磁星的另外一类中子星, 因此被称为中心致密天体^[1-2](Central Compact Object, CCO). 这些源主要分布于银盘附近, 其所在遗迹的年龄约为0.3-7 kyr, 且未观测到脉冲星(Pulsar)星风云. 目前已发现10颗CCO, 它们具有稳定的软X射线辐射, 但却未检测到射电、光学等其他波段的辐射. CCO的X射线辐射呈现典型的黑体谱, 温度约为0.2-0.5 keV^[3], 辐射特征半径约为0.1-3 km, X射线光度约为 $10^{33}\text{--}10^{34} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$, 大于其自身的自转能损率(\dot{E}), 因此通常认为CCO除自转供能外, 还存在其他的供能方式. 截至目前,

2020-02-08收到原稿, 2020-03-22收到修改稿

*国家自然科学基金项目(11703003、U1938117、U1731238), 贵州省科学技术基金项目(黔科合基础[2020]1Y016)资助

[†]1179166195@qq.com

有3颗CCO探测到自旋周期^[4-5], 分别是RX J0822.0-4300 (113 ms)^[6]、1E 1207.4-5209 (424 ms)^[7]和CXOU J185238.6+004020 (105 ms)^[8]. 这3颗源的表面磁场强度分别约为 3.27×10^{10} Gs、 9.83×10^{10} Gs和 3.05×10^{10} Gs. 由于CCO的表面磁场强度比其他正常脉冲星小1-2个量级, 因此也常被称为“反磁星”^[9-10]. 已发现的10颗CCO所处的超新星遗迹、周期、磁场等基本信息如表1所示.

表 1 中心致密天体参数
Table 1 Parameters of central compact objects

CCO	SNR	P /s	B /(10^{10} Gs)	Age /kyr	\dot{E} /(10^{33} erg·s ⁻¹)	L_x	Ref.
RX J0822.0-4300	Puppis A	0.113	3.27	3.7	0.26	6.5	[6, 11]
CXOU J085201.4-461753	G266.1-1.2	—	—	1	—	0.25	[12-16]
1E 1207.4-5209	PKS 1209-51/52	0.424	9.83	7	0.012	2.5	[7, 17-20]
CXOU J160103.1-513353	G330.2+1.0	—	—	≥ 3	—	1.5	[21, 22]
1WGA J1713.4-3949	G347.3-0.5	—	—	1.6	—	~ 1	[16, 23, 24]
CXOU J185238.6+004020	Kes 79	0.105	3.05	7	0.305	5.3	[8, 25, 26]
CXOU J232327.9+584842	Cas A	—	—	0.33	—	4.7	[1, 22, 27, 28]
XMMU J172054.5-372652	G350.1-0.3	—	—	0.9	—	3.4	[29]
XMMU J173203.3-344518	G353.6-0.7	—	—	~ 27	—	10	[6, 30, 31]
CXOU J181852.0-150213	G15.9+0.2	—	—	1-3	—	~ 1	[32]

CCO作为一类年轻的脉冲星, 呈现出丰富的观测现象: 首先, 源1E 1207.4-5209观测到Glitch现象, 其有助于研究CCO的自旋演化; 其次, 源1E 1207.4-5209在其X射线能谱上观测到多阶回旋共振散射特征(简称回旋吸收线), 能量分别约为0.7 keV、1.4 keV、2.1 keV和2.8 keV^[18], 导出的磁场强度约为 6×10^{10} Gs. 同时, 源RX J0822.0-4300也在其X射线能谱上观测到回旋吸收线^[33], 能量约为0.8 keV, 导出的磁场强度约为 7×10^{10} Gs. 这些结果为CCO的低磁性提供了直接观测证据; 再次, 源CXOU J232327.9+584842所在的超新星遗迹Cas A是目前已知最年轻的遗迹, 其年龄约为327 yr, 这对研究中子星内部冷却具有重要意义. 最初, 一些科学家认为该脉冲星的温度每十年下降 $\sim 4\%$ ^[34], 但最新的观测认为该值误差较大^[35-36]. 最后, CCO候选体1E 161348-5055曾被报道探测到 ~ 6.7 h的自旋周期^[37-38]. 如果被证实, 则该周期是目前发现最长的脉冲星自旋周期. 有观点认为该源可能存在某种特殊的制动机制, 导致其自旋减慢^[37].

目前SNR cat-High Energy Observations of Galactic Supernova Remnants数据库中共记录有383个超新星遗迹, 而观测确认的CCO共有10颗, 因此可推测CCO的诞生率约为2.61%. 关于CCO的起源, 有学者认为它们的前身星和一般的恒星无异, 只是恒星核的缓慢旋转导致了它们的磁场低于正常脉冲星^[20, 26, 39], 但这种观点不能解释CCO热辐射的各向异性. 另一种观点认为CCO可能是处于宁静期的磁星(Magnetar), 包括Anomalous X-ray Pulsar (AXP)和Soft Gamma Repeater (SGR), 磁星具有Glitch、

暴(burst)、爆发(outburst)、巨型耀斑(giant flares)等现象^[9]. 例如有学者认为CCO源 J232327.9+584842的观测性质与处于宁静时期的AXP或SGR相似. 又如, 有的学者认为CCO候选体1E 161348-5055的观测性质与AXP非常相似, 其可能是制动磁星. 对于CCO的低磁场, 有的观点认为其诞生时磁场就比较低, 也有观点认为是CCO诞生后经演化而减弱的. 特别是Doroshenko等^[40]在CCO源XMMU J173203.3-344518的超新星遗迹G353.6-0.7内发现一颗后渐近支巨星(Post-Asymptotic Giant Branch Star), 并认为其与该CCO的前身星可能处于双星系统中, 后来由于超新星爆发而分离. 这一观点提出了CCO双星起源的可能性. 本文试图分析CCO的物理性质, 并基于吸积中子星周期-磁场演化模型来探讨CCO双星起源的可能性. 我们提出了一种CCO可能的演化过程: 双星系统中的一颗恒星先经历超新星爆发, 诞生一颗中子星, 而后第2颗恒星发生超新星爆发, 而其形成的中子星被踢走, 留下了超新星遗迹和第1颗恒星超新星爆发产生的中子星, 即CCO. 本文主要内容如下: 第2节分析CCO的周期-磁场分布, 并与其他正常遗迹脉冲星比较, 分析CCO双星起源的可能性; 第3节基于吸积中子星的演化模型, 分析双星系统中CCO的周期-磁场演化路径; 第4节分析CCO可能的双星起源及其演化过程; 第5节进行总结与展望.

2 周期-磁场分布

本文尝试分析CCO的自旋周期、表面磁场强度的性质. 首先, 考虑到超新星遗迹脉冲星分为正常遗迹脉冲星、CCO和磁星3类. 其中, 正常遗迹脉冲星是通过损失自身转动能来提供辐射能量, 即转动供能脉冲星, 而CCO和磁星的X射线光度大于其自转能损率, 因此一般认为这两种源除转动供能外, 还有其他供能方式. 此外, CCO的磁场强度明显低于正常遗迹脉冲星, 而磁星的磁场强度明显高于正常遗迹脉冲星, 所以CCO也常被称作“反磁星”. 因此, 我们尝试比较CCO与其他正常遗迹脉冲星的自旋周期及表面磁场强度的分布. 数据上, 本文收集了ATNF (Australia Telescope National Facility) 脉冲星数据库中1906颗孤立射电脉冲星、228颗双星脉冲星、46颗正常遗迹脉冲星和20颗磁星的自旋周期、表面磁场强度数据. 同时, 我们还从表1中收集3颗CCO的自旋周期、表面磁场强度数据.

图1显示了中子星表面磁场强度-自旋周期分布. 其中, 正常遗迹脉冲星的 P 分布在0.016–2.19 s范围, B 分布在 4.86×10^{11} – 4.88×10^{13} Gs范围, 而CCO的 P 分布范围在0.105–0.424 s, B 分布范围在 3.05×10^{10} – 9.83×10^{10} Gs. 进一步, 我们分别统计了正常遗迹脉冲星和CCO自旋周期及表面磁场强度的平均值, 列于表2中. 可以看出, 正常遗迹脉冲星和CCO具有相似的平均自旋周期(分别为0.26 s和0.21 s), 但CCO的平均表面磁场强度(5.4×10^{10} Gs)比正常遗迹脉冲星(7.7×10^{12} Gs)低约2个量级. 为方便对比, 图2还显示了CCO和其他超新星遗迹脉冲星表面磁场强度分布的直方图. 此外, 自旋加速线(Spin-up Line)是双星系统中吸积加速的特征线, 例如, 从图1中可以看出绝大多数双星脉冲星均分布在自旋加速线以下, 表明这些双星系统的中子星可能存在吸积加速过程. 特别是, 从图1中还可以看出几乎所有正常遗迹脉冲星均分布在自旋加速线以上, 而3颗CCO全部分布在自旋加速线以下. 根据再加速理论, 中子星在双星系统中经过吸积过程能显著降低其表面磁场强度. 因此, 我们怀疑CCO可能是经过双星吸积演化后才

导致其表面磁场强度降低的.

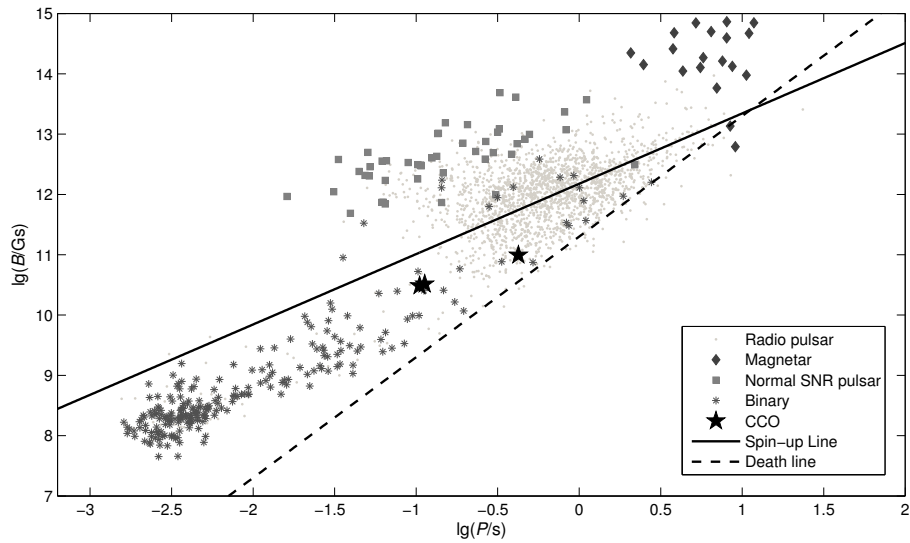


图 1 中子星磁场强度-周期(B - P)图, 其中实线为爱丁顿吸积加速线^[41], 虚线为死亡线^[42]. Radio pulsar: 射电脉冲星, Magnetar: 磁星, CCO: 中心致密天体, Binary: 双星, Normal SNR pulsar: 正常超新星遗迹脉冲星. 该图数据来自 ATNF 脉冲星表^[43].

Fig. 1 The diagram of the magnetic field strength versus spin period (B - P) of the neutron stars, where the solid line is the Eddington accretion spin-up line^[41], and the dotted line is the death line^[42]. Radio pulsar: pulsar observed in radio, Magnetar: magnetar, CCO: center compact object, Binary: pulsar in the binary, Normal SNR pulsar: normal supernova pulsar. The data of the figure is from the ATNF Pulsar Catalogue^[43].

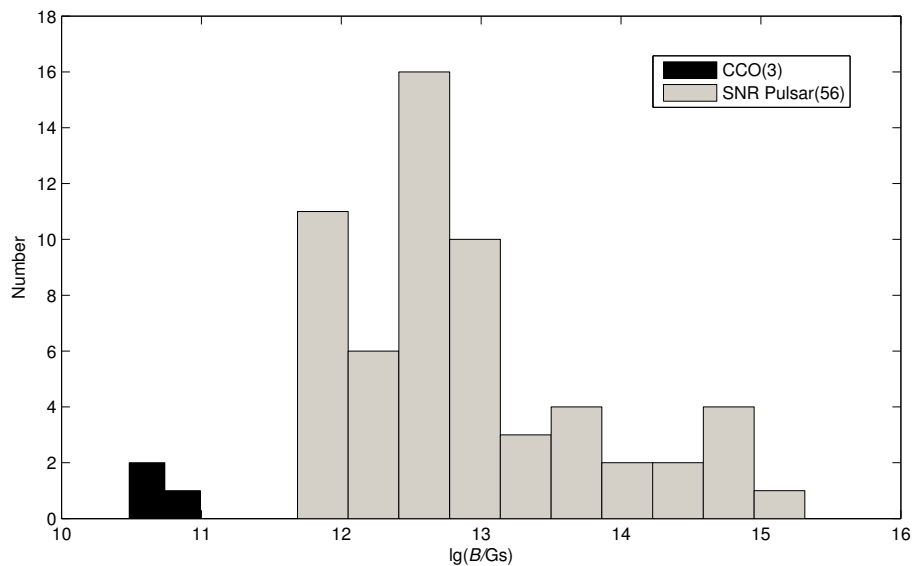


图 2 中子星表面磁场强度直方图

Fig. 2 Histogram of the surface magnetic field strength of the neutron stars

表 2 脉冲星平均自旋周期及磁场强度
Table 2 The mean spin period and magnetic field strength of the pulsars

Source	$\langle P \rangle / \text{s}$	$\langle B \rangle / \text{Gs}$
Normal SNR Pulsar	0.26	7.7×10^{12}
CCO	0.21	5.4×10^{10}

3 双星起源模型分析

我们假设CCO起源于双星, 并尝试基于吸积加速模型, 分析双星系统中CCO的自旋周期、表面磁场强度的演化路径.

首先, 磁场演化方面, 根据再加速理论, 中子星在双星系统经吸积加速后, 其表面磁场强度将会衰减^[44]. 进一步, Zhang和Kojima提出了磁场强度演化模型^[45]:

$$B = \frac{B_0}{1 + \Delta M / M_b}, \quad (1)$$

式中, B_0 为初始表面磁场强度, M_b 为磁场衰减质量常数, 一般取值为 $\sim 10^{-4} M_\odot$. 根据(1)式可知, 假设CCO初始的表面磁场强度约为 $B_0 \sim 10^{12}$ Gs, 则经过吸积 $\Delta M \sim 10^{-2} M_\odot$ 的物质后, 其表面磁场强度将会降低至目前观测值 $B \sim 10^{10}$ Gs;

其次, 吸积率方面, 根据再加速理论, 吸积中子星达到平衡周期的条件为^[46]

$$P = 2.4(\text{ms}) B_9^{6/7} \left(\frac{M}{1.4 M_\odot} \right)^{-5/7} \left(\frac{\dot{M}}{\dot{M}_{\text{Edd}}} \right)^{-3/7} R_6^{18/7}, \quad (2)$$

式中, B_9 为以 10^9 Gs为单位的中子星表面磁场强度, M 为中子星质量(取值为 $1.4 M_\odot$), \dot{M} 为吸积率, \dot{M}_{Edd} 为爱丁顿吸积率($\dot{M}_{\text{Edd}} \sim 10^{18} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$), R_6 为以 10^6 cm为单位的中子星半径(取值为1). 现将表1中3颗CCO: RX J0822.0-4300 ($P = 113$ ms, $B = 3.27 \times 10^{10}$ Gs)、1E 1207.4-5209 ($P = 424$ ms, $B = 9.83 \times 10^{10}$ Gs)和CXOU J185238.6+004020 ($P = 105$ ms, $B = 3.05 \times 10^{10}$ Gs)的自旋周期和表面磁场强度分别代入(2)式, 求得它们的吸积率分别为 $\dot{M} = 1.34 \times 10^{17} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $\dot{M} = 5.52 \times 10^{16} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $\dot{M} = 1.38 \times 10^{17} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$. 可以看出, CCO的吸积率接近 $10^{17} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$, 即0.1个爱丁顿吸积率. 作为对比, 我们通过调研得到低质量X射线双星的光度^[47], 进一步求得它们的吸积率, 并在图3显示了它们的吸积率分布直方图. 可以看出, CCO和低质量X射线双星这类吸积中子星相比, 其吸积率是在正常范围, 因此CCO有可能经历过吸积加速过程. 但是, 若以 $\dot{M} \sim 10^{17} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ 的吸积率, 要达到CCO所需吸积质量 $\Delta M \sim 10^{-2} M_\odot$, 需要的时间为 $\tau = \frac{10^{-2} M_\odot \times 2 \times 10^{33} \text{ g}}{10^{17} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \times 3600 \text{ s} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ d}}$, 约为 6×10^6 yr, 这个年龄远大于CCO遗迹的年龄(0.3–7 kyr). 因此, 我们怀疑CCO可能存在特殊的演化过程;

再次, 自旋周期演化方面, 根据再加速理论, 中子星在双星系统经历吸积加速过程, 其自旋周期变化率 \dot{P} 的演化关系为^[48]:

$$-\dot{P} = 2.7 \times 10^{-4} (\text{s} \cdot \text{yr}^{-1}) \left[m^{3/7} R_6^{6/7} I_{45}^{-1} \right] B_{12}^{2/7} P^2 \dot{M}_{18}^{6/7} n(\omega_s), \quad (3)$$

式中, \dot{P} 为中子星自旋周期导数, m 为以太阳质量为单位的中子星质量(取值为1.4), B_{12} 为以 10^{12} Gs 为单位的中子星表面磁场强度, I_{45} 为以 10^{45} $\text{g} \cdot \text{cm}^2$ 为单位的中子星转动惯量(取值为1), \dot{M}_{18} 为以 10^{18} $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ 为单位的吸积率, $n(\omega_s)$ 为 fastness 因子^[49].

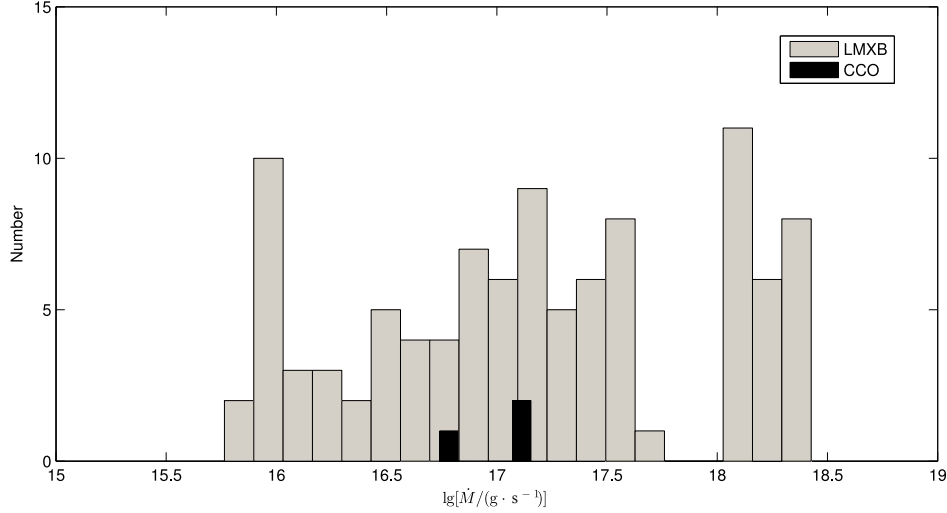


图 3 低质量X射线双星和中心致密天体吸积率直方图, LMXB: 低质量X射线双星.

Fig. 3 Histogram of the accretion rates of the low-mass X-ray binaries and central compact object, LMXB: the low-mass X-ray binaries.

我们尝试根据(1)式和(3)式计算分析CCO周期-磁场的双星演化路径: 对(3)式进行积分, 并结合(1)式, 设置吸积率为 $\dot{M} \sim 10^{17}$ $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$, 吸积时间为 $\sim 10^6$ yr, 吸积总质量为 $\Delta M \sim 10^{-2} M_{\odot}$, 质量常数为 $M_b \sim 10^{-4} M_{\odot}$. 再设置初始自旋周期为 $P_0 \sim 10$ s, 初始表面磁场强度为 $B_0 \sim 10^{12}$ Gs. 经计算, 得到最终自旋周期为 $P \sim 0.1$ s, 最终表面磁场强度为 $B \sim 10^{10}$ Gs. 图4显示了CCO周期-磁场强度的双星演化过程, 从中可以看出, CCO的自旋周期从 $P \sim 10$ s加速到 $P \sim 1$ s的过程中, 表面磁场强度下降比较慢, 从 $B \sim 10^{12}$ Gs下降到 $B \sim 10^{11.5}$ Gs, 仅下降了约0.5个量级. 而自旋周期从 $P \sim 1$ s加速到 $P \sim 0.1$ s的过程中, 表面磁场强度下降比较快, 从 $B \sim 10^{11.5}$ Gs下降到 $B \sim 10^{10.3}$ Gs, 下降近1.2个量级. 同时, 从图4还可以看出该演化过程与目前的观测结果符合得比较好. 因此, 我们认为CCO可能起源于双星.

4 演化路径

根据以上的分析, 若CCO起源于双星系统, 其需要在 $\sim 10^6$ yr的时间里, 以 $\dot{M} \sim 10^{17}$ $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ 的吸积率吸积 $\Delta M \sim 10^{-2} M_{\odot}$ 的物质, 其自旋周期将会从 $P \sim 10$ s降低至 $P \sim 0.1$ s, 其表面磁场强度将会从 $B \sim 10^{12}$ Gs降低至 $B \sim 10^{10}$ Gs. 但是 10^6 yr的演化时标远大于CCO遗迹的年龄(0.3–7 kyr).

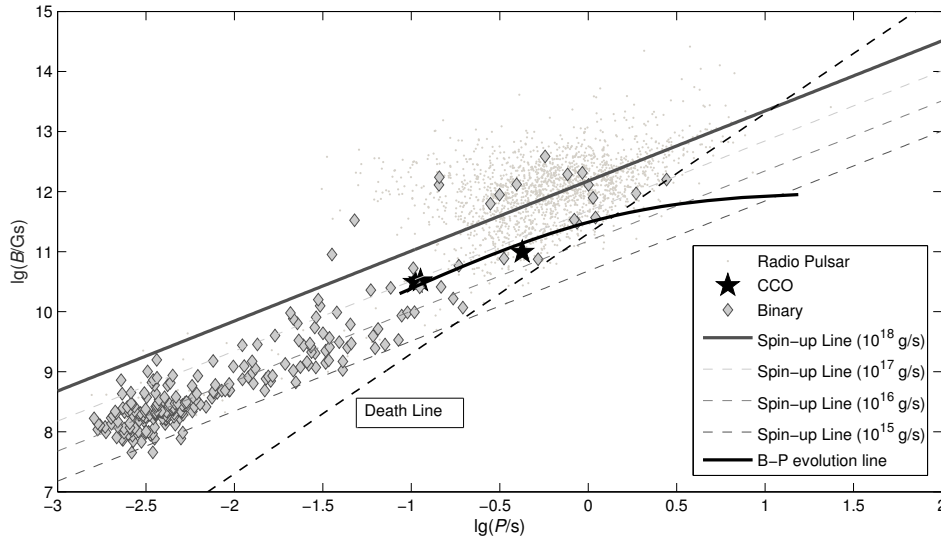


图 4 中子星的磁场强度-周期演化图. 图例类似于图1.

Fig. 4 The evolution diagram of the magnetic field strength versus period of the neutron stars. The legend of the figure is similar to Fig. 1.

我们认为CCO起源于双星, 并且经历过 $\sim 10^6$ yr的吸积加速过程. 而为解决与CCO所在超新星遗迹年龄较短这一矛盾, 我们认为CCO所处的遗迹可能并非其自身超新星爆发的遗迹, 而是有其他的演化路径. 据此, 我们提出了CCO的一种新的可能演化过程: 如图5所示, CCO起源于双大质量恒星(大于 $8 M_{\odot}$)系统, 质量较大的恒星先经历超新星爆发形成一颗中子星(A星), 组成中子星-恒星系统. 而后该系统经过 $\sim 10^7$ yr后, 第2颗恒星进入后主序演化, A星中子星开始吸积. 再经过 $\sim 10^6$ yr, 当A星中子星吸积 $\Delta M \sim 10^{-2} M_{\odot}$ 的物质后, 其伴星发生超新星爆发, 产生中子星(B星)和超新星遗迹. B星中子星的超新星爆发时产生一个 $\sim 400-500 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的踢速度^[50], 由于双星轨道较大, A星中子星的引力并不能拉住B星中子星, 使得两个中子星脱轨分离. 最终, 留下了A星中子星即观测到的CCO, 所在遗迹为B星的超新星遗迹.

5 总结与展望

CCO作为一类年轻的超新星遗迹脉冲星, 其起源一直备受关注. 首先, CCO与其他正常遗迹脉冲星相比, 具有相似的自旋周期, 但其表面磁场强度较其他正常遗迹脉冲星低 ~ 2 个量级. 如此低的磁场强度让我们怀疑CCO可能起源于双星: 根据吸积中子星的演化模型, 双恒星系统中质量较大的恒星先进行超新星爆发, 形成一颗初始磁场 $B \sim 10^{12}$ Gs, 初始周期 $P \sim 10$ s的中子星. 经过 $\sim 10^7$ yr, 该中子星的伴星进入后主序演化, 开始双星吸积过程, 经历 $\sim 10^6$ yr, 当中子星吸积 $\Delta M \sim 10^{-2} M_{\odot}$ 的物质后, 表面磁场强度将会降低至 $B \sim 10^{10}$ Gs, 周期将会加速到 $P \sim 100$ ms, 即观测到的CCO. 此外, 基于吸积假设计算出的CCO的吸积率与低质量X射线双星观测的吸积率相比是在合理的范围内, 因此, 我们认为CCO起源于双星, 并且经历过 $\sim 10^6$ yr的吸积加速过程. 而后伴星超新星爆发, 形成的中子星被踢走, 而CCO所处的遗迹可能是其伴星超新星爆发

所产生的遗迹. 通过这个理论演化模型, 我们预言双星中CCO的伴星超新星爆发产生了一个类似于Crab脉冲星的快速旋转、强磁的中子星. 若射电望远镜能够观测到这颗源, 那么我们将获得两颗新诞生的不同类型中子星, 这对于研究两类新型脉冲星和它们的冷却演化、约束中子星的物理参数将是难得的样本.

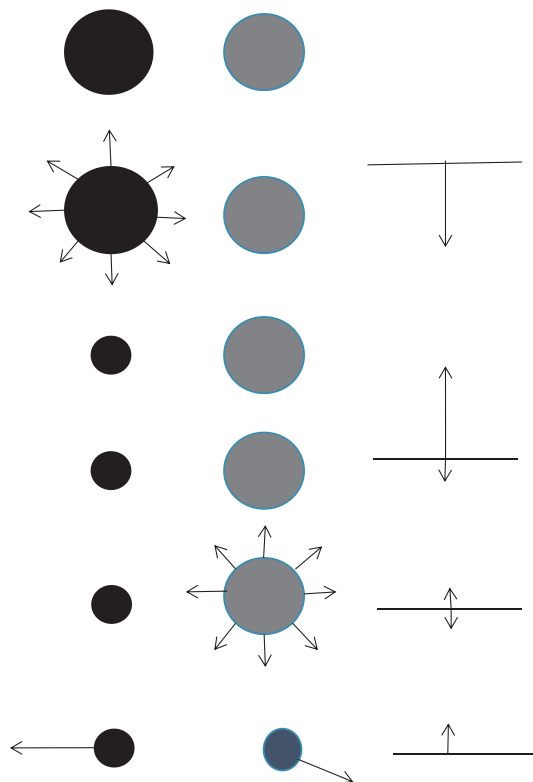


图 5 CCO双星演化图

Fig. 5 The diagram of the binary evolution of the CCOs

参 考 文 献

- [1] Pavlov G G, Zavlin V E, Aschenbach B, et al. ApJ, 2000, 531: L53
- [2] Pavlov G G, Sanwal D, Garmire G P, et al. arXiv:astro-ph/0112322
- [3] Mereghetti S. X-Ray Emission from Isolated Neutron Stars//Torres D F, Rea N. High-Energy Emission from Pulsars and Their Systems. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011: 345-363
- [4] Pavlov G G, Sanwal D, Teter M A. arXiv:astro-ph/0311526
- [5] Ho W C G. arXiv:1210.7112
- [6] Gotthelf E V, Halpern J P. ApJ, 2009, 695: L35
- [7] Zavlin V E, Pavlov G G, Sanwal D, et al. ApJ, 2000, 540: L25
- [8] Gotthelf E V, Halpern J P, Seward F D. ApJ, 2005, 627: 390
- [9] Gotthelf E V, Halpern J P, Alford J. ApJ, 2013, 765: 58
- [10] Luo J, Ng C Y, Ho W C G, et al. ApJ, 2015, 808: 130
- [11] Hui C Y, Becker W. A&A, 2006, 454: 543
- [12] Slane P, Hughes J P, Edgar R J, et al. ApJ, 2001, 548: 814

- [13] Kargaltsev O, Pavlov G G, Sanwal D, et al. *ApJ*, 2002, 580: 1060
- [14] Bamba A, Yamazaki R, Hirag J S. *ApJ*, 2005, 632: 294
- [15] Iyudin A F, Aschenbach B, Becker W, et al. *A&A*, 2005, 429: 225
- [16] De Luca A. *AIP Conference Proceedings*, 2008, 983: 311
- [17] Mereghetti S, De Luca A, Caraveo P A, et al. *ApJ*, 2002, 581: 1280
- [18] Bignami G F, Caraveo P A, De Luca A, et al. *Nature*, 2003, 423: 725
- [19] De Luca A, Mereghetti S, Caraveo P A, et al. *A&A*, 2004, 418: 625
- [20] Gotthelf E V, Halpern J P. *ApJ*, 2007, 664: L35
- [21] Park S, Mori K, Kargaltsev O, et al. *ApJ*, 2006, 653: L37
- [22] Pavlov G G, Luna G J M. *ApJ*, 2009, 703: 910
- [23] Lazendic J S, Slane P O, Gaensler B M, et al. *ApJ*, 2003, 593: L27
- [24] Cassam-Chenaï G, Decourchelle A, Ballet J, et al. *A&A*, 2004, 427: 199
- [25] Seward F D, Slane P O, Smith R K, et al. *ApJ*, 2003, 584: 414
- [26] Halpern J P, Gotthelf E V, Camilo F, et al. *ApJ*, 2007, 665: 1304
- [27] Chakrabarty D, Pivovarov M J, Hernquist L E, et al. *ApJ*, 2001, 548: 800
- [28] Mereghetti S, Tiengo A, Israel G L. *ApJ*, 2002, 569: 275
- [29] Gaensler B M, Tanna A, Slane P O, et al. *ApJ*, 2008, 680: L37
- [30] Tian W W, Leahy D A, Haverkorn M, et al. *ApJ*, 2008, 679: L85
- [31] Acero F, Pühlhofer G, Klochkov D, et al. *arXiv:0907.0642*
- [32] Reynolds S P, Borkowski K J, Hwang U, et al. *ApJ*, 2006, 652: L45
- [33] Gotthelf E V, Halpern J P. *AIP Conference Proceedings*, 2008, 983: 320
- [34] Henike C O, Ho W C G. *ApJ*, 2010, 719: L167
- [35] Elshamouty K G, Heinke C O, Sivakoff G R, et al. *ApJ*, 2013, 777: 22
- [36] Posselt B, Pavlov G G, Suleimanov V, et al. *ApJ*, 2013, 779: 186
- [37] De Luca A, Caraveo P A, Mereghetti S, et al. *Science*, 2006, 313: 814
- [38] De Luca A, Mignani R P, Zaggia S, et al. *ApJ*, 2008, 682: 1185
- [39] Halpern J P, Gotthelf E V. *ApJ*, 2010, 709: 436
- [40] Doroshenko V, Pühlhofer G, Kavanagh P, et al. *MNRAS*, 2016, 458: 2565
- [41] Bhattacharya D, van den Heuvel E P J. *PhR*, 1991, 203: 1
- [42] Ruderman M A, Sutherland P G. *ApJ*, 1975, 196: 51
- [43] Manchester R N, Hobbs G B, Teoh A, et al. *AJ*, 2005, 129: 1993
- [44] Shibasaki N, Murakami T, Shaham J, et al. *Nature*, 1989, 342: 656
- [45] Zhang C M, Kojima Y. *MNRAS*, 2006, 336: 137
- [46] van den Heuvel E P J. *NYASA*, 1977, 302: 14
- [47] Ford E C, van der Klis M, Méndez M, et al. *ApJ*, 2000, 537: 368
- [48] Camilo F, Thorsett S E, Kulkarni S R. *ApJ*, 1994, 421: L15
- [49] Pan Y Y, Wang N, Zhang C M. *Ap&SS*, 2013, 346: 119
- [50] Hobbs G, Lorimer D R, Lyne A G, et al. *MNRAS*, 2005, 360: 974

Binary Origin of the Neutron Star Central Compact Objects

DIAO Zhen-qi WANG De-hua YE Chang-qing

(School of Physics and Electronic Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025)

ABSTRACT The possibility of the binary origin for the central compact objects (CCOs) is probed in this paper. Firstly, we find that the CCOs share the similar average spin period to the normal supernova remnant (SNR) pulsars, however, the average surface magnetic field strength of CCOs ($B \sim 5.4 \times 10^{10}$ Gs) is lower than the normal SNR pulsars ($B \sim 7.7 \times 10^{12}$ Gs) by ~ 2 orders of magnitudes. Meantime, we also find that almost all the normal SNR pulsars lie in the position above the spin-up line, while all the CCOs lie in the position under the spin-up line. Therefore, we doubt that CCOs may origin from the accretion induced spin-up process in the binaries. Secondly, we analyze the possible binary evolution process of CCOs based on recycling theory of the neutron stars: in the binary, a CCO can accrete the $\Delta M \sim 10^{-2} M_{\odot}$ matter with the accretion rate of $\dot{M} \sim 10^{17} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ during the time of $\sim 10^6$ yrs, then its spin period will decrease from $P \sim 10$ s to $P \sim 0.1$ s, and its surface magnetic field strength will decrease from $B \sim 10^{12}$ Gs to $B \sim 10^{10}$ Gs. Considering that the evolution timescale of $\sim 10^6$ yr is far longer than the age of the SNRs containing CCOs ($\sim 0.3\text{--}7$ kyr), we suppose that CCOs may be the products of the supernova of the first star in the binary, and the binary is disintegrated during the supernova of the second star, which leaves a CCO and the SNR of the second star. This model predicts that there may exit a young normal pulsar near the CCO ($P \sim 0.02$ s, $B \sim 10^{12}$ Gs), and we expect that the radio telescope and high energy detector can survey these sources in the future.

Key words stars: neutron, pulsars: general, central compact object (CCO), binaries: general