

新的脉冲星巡天及研究

康 连 生

(中国科学院北京天文台, 北京 100080)

提 要

从1967年第一颗脉冲星发现以后, 一些大尺度巡天就开始了。早期脉冲星巡天都是在低频(400MHz左右)进行的。由于星际散射、色散脉冲展宽和趋于银道面的背景辐射温度升高等严重的选择效应, 新的脉冲星巡天多在高频(1000MHz以上)展开, 并选择了非常快的采样率。

新的脉冲星巡天展示了在银盘和球状星团中的毫秒脉冲星, 洞察了银河系内部, 并发现了大量的相对年轻的脉冲星。射电与光学观测的结合, 对从产生到非常晚期的脉冲星的磁场演化有了合理解释。新的脉冲星与超新星遗迹成协的发现, 大大地增进了我们对脉冲星形成的了解。毫秒脉冲星和脉冲双星的发现, 即所谓“再生脉冲星”, 使我们对小质量原始X射线双星的演化有了新的认识。球状星团脉冲星发现以后, 脉冲星及掩食X射线双星, 已成为对银河系最古老部分的形成及演化的一个探针。射电脉冲星观测, 日新月异地揭示了中子星的形成与演化的秘密。脉冲星的研究已成为天体物理学中一个引人注目的课题。

一、引 言

目前已发现的500多个脉冲星, 根据其演化史明显地分为两类。一类是观测到的多数, 即所谓场脉冲星。它们在超新星爆发中产生, 初始周期约为20ms, 有高的初始磁场强度(10^{12} G), 周期随着电磁能的流失而增加, 很少有小于100ms的。第二类是通常的毫秒脉冲星。它们可能是由双星系统中伴星的质量传递加速形成毫秒脉冲星的。这类脉冲星磁场强度相对低(10^9 G), 并且没有明显的自转减慢。

1982年底, 第一颗毫秒脉冲星PSR1937+21的发现(Backer等), 证实了在脉冲星场中由吸积使中子星加速的观点。PSR1937+21的发现, 在X射线天文学的进展中也占有重要地位。1970年“自由号”X射线卫星的发射, 发现了X射线脉冲星、球状星团中亮的小质量X射线双星(LMXBs)和X射线源。X射线脉冲星被直接辨认为是从伴星中吸积物质的强磁场中子星。而小质量X射线双星和球状星团X射线源被解释为弱磁化吸积中子星。PSR1937+21的发现使整个天体物理界震惊, 改变了射电脉冲星和X射线双星是两类完全不同的天体的认识。X射线双星中吸积使中子星加速(或减速)理论模型的发展, 令人满意地解释了脉冲星周期变化的现象。

球状星团M28中脉冲星的发现(Lyne et al., 1987)又是一个里程碑。它重申了小质量

1992年4月27日收到。

1993年2月27日收到修改稿。

X射线双星与毫秒脉冲星之间的演化连接。目前已在 12 个球状星团中共发现了 19 个脉冲星。其中 13 个是毫秒脉冲星。在球状星团 47 Tucanae 中共发现了 11 个毫秒脉冲星。这些脉冲星在相对短周期双星系统中的高比例，似乎支持了在小质量 X 射线双星中吸积加速产生毫秒脉冲星的观点，但是这些脉冲星的生成率似乎大大地超过了小质量 X 射线双星的生成率。

食毫秒脉冲星 PSR 1957 + 20 的发现是近期最重要的发现之一 (Fruchter, Stinebring & Lyne 1988)。可以相信多数但不是所有的脉冲双星和毫秒脉冲星是 X 射线双星的产物。这些脉冲星被称之为“再生”脉冲星 (recycled pulsar)。命名是根据这些脉冲星的自转初期减慢和后来的吸积加速模型得来的。目前再生脉冲星被认为是银河系中最古老的中子星。

三个新的脉冲星与超新星遗迹成协 (PSR 1951 + 32 在 CTB 80 中, PSR 1853 + 01 在 W44 中, PSR 0656 + 14 在 G201.2 + 3.2 中) 的发现, 显示了在超新星遗迹中寻找脉冲星的重要性。这些成协展示了在脉冲星生存期的磁场强度、自转率等重要参数。加深了我们对中子星形成和演化的了解。

在 CTB80 中 PSR1951 + 32 和 PSR1957 + 20 周围的星云的发现, 引起了我们对脉冲星同其周围星际介质相互关系的注意。仔细地研究脉冲星自转能的减少与周围介质的相互关系, 特别是对强活动脉冲星周围的观测, 提供了对其周围环境的新的了解, 以及对来自脉冲星的相对论性星风辐射特性的认识。

二、脉冲星巡天

早期的脉冲星巡天都是为了发现脉冲星而在低频进行的普遍巡天。低频巡天望远镜视场大, 而且脉冲星辐射强。但是对于色散量大、流量低特别是在银心方向上的脉冲星, 为了克服星际散射、色散展宽和高的银河背景辐射等选择效应的影响, 新的脉冲星巡天大多是有目的的高频巡天。

1985 年的 Manchester, Amico & Lyne 的 Parkes 巡天使用澳大利亚 64m 天线, 在 1400MHz 进行。巡天检测到 3 颗近银道面的短周期脉冲星。

1985 年的 Green Bank 巡天 (Dewey 等) 明确地设计为测定脉冲星光度函数。巡天在 490MHz 的灵敏度为 2mJy, 覆盖角为 1.8 球面度。这次巡天发现了 34 颗新的脉冲星, 并观测了 40 颗已知的脉冲星。值得注意的是这次巡天发现了环绕周期为 1.8d 的脉冲星 PSR1831-00。和先前的巡天一样, 这次巡天没有发现任何本身光度 L_{400} 低于 $0.3\text{mJy} \cdot \text{kpc}^{-2}$ 的脉冲星。

1986 年的 Jodrell Bank 巡天 (Clifton & Lyne), 为了克服星际介质影响进行了特殊设计。观测在 1400MHz 进行, 采样率为 2ms, 覆盖河内 $-4^\circ \leq l \leq 105^\circ$, $|b| < 1^\circ$ 天区。巡天测定了 62 颗脉冲星, 其中 40 颗是新发现的。几乎所有新发现的脉冲星都分布在 $l < 50^\circ$ 之内, 色散量最大值超过了 $1000\text{cm}^{-3} \cdot \text{pc}$, 峰值在 $400\text{cm}^{-3} \cdot \text{pc}$ 周围。这意味着新的脉冲星位于由恒星形成的 5kpc 分子环内。

随着 PSR 1937 + 21 的发现, 对快脉冲星的巡天开始了。Green Bank 一组 (Stokes et al., 1986), Arecibo 两组 (Stokes et al., Fruchter), Green Bank 巡天在 390MHz 进行,

覆盖了从银纬 15° 到 210° 的 3700 平方度天区, 保持了短于 30ms 的周期分辨率, 发现了 25 个新的脉冲星, 但是没有有一个单脉冲星周期低于 100ms 。

Arecibo 第一次巡天(1986)覆盖了 290 平方度的天区, 周期分辨率短于 5ms , 测定了 5 个新的脉冲星。其中 PSR 1855 + 9 周期为 5ms , 第二次巡天(1988)覆盖同样的天区, 但提高了采样率和频率分辨率。重要的发现是周期为 10ms 的食脉冲双星 PSR 1957 + 20。

1987 年 Lyne 等人的 Jodrell Bank, Los Alamos, Caltech 和 U.C.Berkeley 的国际合作观测, 在球状星团 M28 中发现了周期为 3ms 的脉冲星 PSR1821 - 24。这是球状星团中发现的第一颗脉冲星。

1988 年 Ables 为首的 Parkes 巡天, 搜寻了一定数量的南部球状星团。在球状星团 M4 中发现了周期为 11ms 的脉冲星 PSR1620-26。

1989 年 Wolszczon 等人的 Arecibo 巡天, 用低频搜寻到 $-1^\circ \leq \delta \leq 38^\circ$ 的可见的富星团。在球状星团 M15 中发现了周期为 110ms 的单脉冲星 PSR2127 + 11A。第二次巡天在球状星团 M15 中又发现了周期为 56ms 的 PSR2127 + 11B 和周期为 30ms 的 PSR2127 + 11C, 在星云 M13 中发现了 10ms 的 PSR1639 + 36。

1989 年 Lyne 等人的 Jodrell Bank 巡天, 用 76m 望远镜观测了近 20 多个的富星团, 但没有发现新的脉冲星。巡天的基本对象是恒星形成区和近银盘的年轻脉冲星, 获得了 8 个脉冲星的吸收谱。同时在统计分析中给出了脉冲星分布函数。分布函数的峰值由以前的 $R = 4 - 6 \text{ kpc}$ 降到了 $R < 3 \text{ kpc}$ 。

1989 年的 VLA 巡天, 对 M4, M28 等 4 个星团核作成图观测。包括已知脉冲星在内的 3 个点源出现在图中, 但是没有发现新的脉冲星。观测使用了 430MHz 和 1400MHz 两个波段。 1400MHz 的 M92 成图中, 显示星云 M92 中不可能包括任何流量大于 $30\mu\text{Jy}$ 的脉冲星。

Jodrell Bank 北银道面对快脉冲星巡天(Clifton & Lyne), 从 1935 年 7 月到 1987 年 8 月, 用 76m 望远镜在 1420MHz 观测了近银心的 $0^\circ < l < 60^\circ$, $|b| < 1^\circ$ 天区, 用 928MHz 观测了 $1^\circ < |b| < 2^\circ$ 天区, 用 610MHz 观测了远离银心的 $0^\circ < l < 80^\circ$, $|b| < 2^\circ$ 天区。这样就兼备了高频和低频巡天的优越性。这种巡天采用了与许多巡天不同的方法, 即望远镜银纬不变扫银经的方法代替连续定点观测。采样率为 $300\mu\text{s}$ 。巡天中检测到 PSR1937 + 21, 但是没有发现新的脉冲星。

南银道面高频脉冲星巡天(Johnston, Lyne & Manchester et al., 1988)用 Parkes 64m 望远镜在 1500MHz 对 $270^\circ \leq l \leq 20^\circ$, $|b| \leq 4^\circ$ 的 800 平方度天区观测。这种巡天对周期小于 10ms 的脉冲星有好的灵敏度, 采样率为 0.3ms 和 1.2ms 。观测到 100 个脉冲星, 其中 64 个是新发现的。新脉冲星的周期在 47ms 到 2.5s 之间。其中 PSR1259-63 是一长周期双星系成员, 有三个脉冲星年龄小于 3 万年。新的脉冲星主要是远距离高色散天体, 在低频很难发现。这次巡天发现从银心到南银盘比北银盘脉冲星分布多, 这可能是由于在南银盘有两个凸起旋臂的原因。

Clifton & Lyne (1986), Amico 等人(1988), Johnston 等人(1991)及南北银盘巡天中, 0.6ms 到 40ms 脉冲星短缺, Stokes(1986), Fruchter(1988)巡天仅测到 1 个毫秒脉冲星, Wolszczon (1990)用 Arecibo 305m 高灵敏度巡天, 仅发现 2 个毫秒脉冲星, 表明在银盘中

毫秒和快转年轻脉冲星并不普遍。

1991年1月 Manchester & Lyne 等人用 Parkes 望远镜对球状星团 47 Tuc 进行了巡天观测。观测在 50cm 波段进行,有 2×123 个 0.25MHz 消色散通道。采样率为 $300\mu\text{s}$ 。数据记录在磁带上进行脱机处理。这次巡天发现了 19 个新的毫秒脉冲星。连同 1989 年 7 月发现的 PSR0021-72C, 在 47 Tuc 中新发现 11 个毫秒脉冲星。其中 6 个被确认为脉冲双星, 1 个可能是双星, 3 个被认为是单脉冲星。周期都在 6ms 以下。色散量差不超过 $0.2\text{cm}^{-3} \cdot \text{pc}$, 说明它们都位于球状星团 47 Tuc 中。

这些巡天的直接结论是: PSR1937 + 21 是一个特殊的亮毫秒脉冲星; 毫秒脉冲星是一组特殊脉冲星, 在银盘中分布不很普遍, 球状星团中比例很高; 周期在 10ms 到 100ms 之间的脉冲星很稀少; 根据巡天观测统计模型外推, 银河系内活动脉冲星总量约为 1.2×10^4 个; 目前出现的毫秒脉冲星有非常陡的谱, 谱指数为 -2.5, 标准脉冲星谱指数经典值为 -1.5。

三、脉冲星研究

目前公认脉冲星是高磁化中子星。射电脉冲星的主要能源是它们的自转能。高能粒子辐射和射电脉冲辐射需要快的自转速度和大的磁场强度。自转能的流失, 使脉冲星随年龄增长而减慢。其功率辐射散失为 $L_{\omega} \propto B^2 \omega^4$ 。其中 B 为磁场强度, ω 为自转角频率。按简单偶极子模型 $B^2 = \sin^{-2} \alpha \cdot P \cdot \dot{P}$ 。 α 是自转轴与磁偶极子轴夹角。从观测到的周期 P 和周期变率 \dot{P} , 可以得出脉冲星的特征年龄 $\tau_c = P / Z \dot{P}$ 。目前测得的脉冲星特征年龄为 10^3 到 $5 \times 10^6 \text{yr}$ 。

Lyne 及其合作者研究了脉冲星自行, 给出了其“运动学年龄” $\tau_z = |Z| / |v_z|$ (1985)。其中 Z, v_z 分别为脉冲星垂直于银盘的距离和速度。Lyne 等人给出的 Z 向速度 $|v_z|$ 为 $100 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。计算的运动学年龄小于 $10^5 - 10^7 \text{yr}$ 。

同时 Lyne 等人还提出了脉冲星的“磁年龄” τ_B 。这里 $\tau_B = 2.3 T_d (12.5 - \log B) \text{yr}$ 。其中 T_d 为脉冲星磁场衰减指数, 多种统计分析给出的值为 $5 \times 10^6 \text{yr}$ 。

近年的脉冲星巡天与研究的结果认为:

1. 所有的再生脉冲星都落在死亡线与再生线之间, 是加速假说成功的反映;
2. 所有已知的毫秒脉冲星 ($P < \text{Crab pulsar}$) 是再生脉冲星;
3. 再生脉冲星磁场强度相对低, 典型值为 10^8G , 而场脉冲星 $B \geq 10^{11} \text{G}$;
4. 再生脉冲星推断年龄 $\geq 10^8 \text{yr}$, 而场脉冲星年龄 $\leq 10^7 \text{yr}$;
5. 再生脉冲星主要位于距银盘 200pc 处, 这个值约为场脉冲星的一半。

理论上预计脉冲星磁场产生于其外层, 由于外层的有限传导率造成磁场减弱。Sang 和 Chanmugam (1987) 指出, 磁场不仅从外层向外散射而且向里传播。再生脉冲星的存在是脉冲星磁场随时间减弱的强有力证据。因为再生脉冲星确有低的磁场强度。

Kulkarni 认为脉冲星磁场由两个成份组成: 一个是高磁场, 有衰减, 时间指数为 $5 \times 10^6 \text{yr}$; 一个是低磁场, 没有明显的衰减。如 PSR0820 + 02 型一组, 有高磁场强度, 其表面磁场衰减成份占主导地位。另一组像单毫秒脉冲星 PSR1937 + 21 等有低磁场强度, 脉冲双星 PSR0655 + 64, PSR1855 + 09, PSR1953 + 29 等有弱磁场, 稳定成份占主导地位。

表 1 给出了 10 个再生脉冲星的运动学参数和磁场强度:

表 1 10 个再生脉冲星的运动学参数

PSR	b ($^{\circ}$)	d (kpc)	$ z $ (pc)	B (G)	τ_c (10^6 yr)	v_i ($\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$)	T_z (10^6 yr)
1855+09	3.1	0.35	20	3.3×10^8	4.5×10^3	≤ 25	≥ 1.3
1953+29	0.4	3.50	25	4.4×10^8	3.2×10^3	?	—
1937+21	-0.3	4.80	30	3.9×10^8	2.7×10^2	40 or 100	0.3 to 0.8
1957+20	-4.2	0.73	55	1.6×10^8	1.7×10^3	100	0.5
1831-00	3.7	3.00	195	8.8×10^{10}	5.8×10^2	?	—
0820+02	21.2	1.80	650	2.9×10^{11}	1.4×10^2	~ 13	~ 50
0855+64	25.0	0.28	120	1.0×10^{10}	5.2×10^3	10 or 50	5 or 28
1820-11	0.9	11.00	170	6.3×10^{11}	3.2	?	—
1913+16	2.1	5.20	190	2.2×10^{10}	1.2×10^2	50 to 300	0.6 to 4
2303+46	-12.0	2.30	480	6.5×10^{11}	4.5×10^1	?	—

脉冲星自转减慢时能量释放率为 $E_R = I\omega\dot{\omega}$ 。其中自转角频率 $\omega = 2\pi/P$, 惯量矩为 $I = 10^{46}\text{gm}\cdot\text{cm}^2$ 。长期以来天文学家对自转能丢失(包括坡印廷流量, 正负电子对和高能光子)感到惊奇。1973 年 Blandford 等人预言在老的脉冲星周围应该有射电同步加速辐射星云环绕(射电晕)。然而大量的射电搜寻都没有成功。

随着爱因斯坦 X 射线卫星的发射, Helfand 等人作了 40 颗射电脉冲星巡天(1983), 努力探测同步加速辐射星云。观测到了环绕 5 个老脉冲星(PSR0355+54, 1929+10, 1055-52, 0950+8, 1642-3)的软 X 射线辐射, 因为太弱没能较好地测定源的形状和谱分布。但是中子星表面的热辐射等理论得到了发展。

由于星震在 CTB80 中的 PSR1951+32 周围的星云易于发出辐射, 使一些天文学家确信在光学波段窄带成像是检测这些星云的理想方法。因此, 近来也开始对一些脉冲星作光学巡天。

首先检测的是食毫秒脉冲双星 1957+20 周围的星云(Kulkarni & Hester 1988)。和其他再生脉冲星一样, PSR1957+20 是一颗年龄在 10^9 yr 以上的老脉冲星, 在星震产生的 H_{α} 线中可见到星云。这里相对论性脉冲星风达到与星际介质平衡。星云有特色的彗星形状表明冲压控制静星际介质压。脉冲星的星际介质闪烁观测展示了约 $100\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 的传播速度。光学数据分析显示的星云压为 $1.5\times 10^{-10}\text{erg}\cdot\text{cm}^{-3}$, 比静星际介质压高三个量级。星云高压标志着相对论性热等离子体充满星云。

脉冲星风星云(Pulsar Wind Nebulae)的观测, 也提供了中子星和来自脉冲星的相对论性星风的新判据。脉冲星磁层标准模型认为光度降低是由于电磁波和坡印廷流量散失的结果。而蟹状星云观测认为似乎是由于相对论性电子对丢失。Coroniti 调和这两种观点(1989), 在新的模型中提出电磁场给予粒子辐射能量。可是, 考虑到脉冲星星风模型理论上尚不确定, 脉冲星风星云的观测只作为脉冲星高能辐射特性的检测工具, 也许在 X 射线窗搜寻脉冲星风星云比光学窗更便利, 因为 X 射线辐射不太依赖于周围的气体特性。

爱因斯坦 X 射线卫星发射以前, 在 150 个超新星遗迹中仅找到 2 颗中子星(Crab & Vela)与其成协。卫星观测揭示了 20 个遗迹中有点源存在。然而只有两颗(MSH15-52 中的

PSR1509-58, CTB109 中的 IE 2259 + 586) 被认证为中子星。近几年又有 3 个新的成协被发现。

射电星云 CTB80 的起源一直是个谜。其最亮区高偏振陡谱点源的出现引起人们极大的兴趣。Arecibo 的观测发现了周期为 40ms 的脉冲星 PSR1951 + 32。其 $\dot{P} = 5.9 \times 10^{-15} \text{s} \cdot \text{s}^{-1}$, 横向运动速度为 $300 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, 磁场强度 $B = 0.5 \times 10^{12} \text{G}$, 比 Crab 脉冲星略小。该星云也不像 Crab 星云那么亮。

Kulkarni 等人(1988)提出脉冲星是在最后 10^4yr 到 10^5yr , 在超新星爆发中生成的。在形成过程中, 反冲的结果使原始双星系统瓦解, 使脉冲星获得了大的横向运动速度。

Arecibo 巡天中在 W44 射电界线内发现了 0.267s 的脉冲星 PSR1853 + 01。其 $\dot{P} = 208 \times 10^{-15} \text{s} \cdot \text{s}^{-1}$, 磁场强度为 $7.4 \times 10^{12} \text{G}$, 特征年龄为 $2 \times 10^4 \text{yr}$ 。脉冲星的特征年龄为其真实年龄的上限, 因此该遗迹年龄也不会大于 $2 \times 10^4 \text{yr}$ 。其脉冲星位于一个 $5'$ 球形壳的重心上, 横向速度为 $215 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

双子座邻近的超新星遗迹是个老的 X 射线辐射区, 一颗周期为 0.38s 的 PSR0656 + 14 在遗迹中心被发现。其特征年龄为 $4 \times 10^3 \text{yr}$, 与双子座 X 射线环的年龄相符合。 \dot{P} 为 $54 \times 10^{-15} \text{s} \cdot \text{s}^{-1}$, 有强磁场 $B = 4.5 \times 10^{12} \text{G}$ 。从色散量推算的距离为 400pc, 其闪烁速度相当低, 约为 $40 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

研究年轻脉冲星存在的疑难问题是自转周期分布和生成时的磁场强度。因为脉冲星亮度正比于 $\omega^4 B^2$, 所以这两个参数是重要的。Naragan 等人发现快脉冲星生成率小于慢脉冲星生成率。他们假设多数脉冲星生成时 $P \geq 0.4 \text{s}$ 。年轻遗迹 W44 中的一个慢脉冲星和中等年龄 CTB80 中的一个快而相对弱磁化的脉冲星的发现, 是有力的证明。

活动遗迹是寻找脉冲星的对象, 但是由于多数活动遗迹中脉冲星固有亮度低、周期长、磁场弱, 加上搜寻灵敏度不足, 使发现率过低。

脉冲双星可以分为小质量脉冲双星(LMBPs)和大质量脉冲双星(HMBPs)两组。(单毫秒脉冲星假定为小质量脉冲星和一个零质量伴星系统)。HMBPs 的特征是轨道周期短(0.3—10d)和偏心轨道, 而 LMBPs 有不变的圆形轨道和较大的轨道周期(数天到数年)。根据恒星演化理论, HMBPs 的伴星应是一个中子星或标准质量的白矮星($\geq 0.6 M_{\odot}$), LMBPs 的伴星应是一个小质量的白矮星($\leq 0.4 M_{\odot}$)。

Heuvel(1987, 1988)提出的模型认为 HMBPs 是大质量主序双星的后裔, 在标准情况下质量大于 $8 M_{\odot}$ 的主星首先发展, 爆发成为中子星。如果是一个密近双星系统, 主星将其外壳的重要部分转移给伴星, 但是双星不分解, 经过一次超新星爆发, 伴星最终发展成中子星或标准质量的白矮星。LMBPs 由一个中子星和一个近太阳质量的主序星构成。在适当的时候和状态下, 伴星开始向中子星倾倒物质。中子星的物质增长产生丰富的 X 射线, 使系统成为可见亮 X 射线源。自转高加速又使其成为可见射电毫秒脉冲星。伴星将随时间慢慢变冷。

PSR1957 + 20 的发现展示了小质量 X 射线双星演化中的脉冲星加速。该系统由一个 1.6ms 脉冲星和一个小质量伴星($0.02 M_{\odot}$)组成。脉冲星掩食一次约 50min。PSR1957 + 20 也展示了在密近双星系统中质量传递比星际演化模型假说更复杂的演化过程。来自吸积盘的 X 射线辐射能够影响伴星, 导致质量传递的上升。

近期的光学巡天观测的结果是:

1. 在大质量脉冲双星 2303 + 46 中没有找到光学对应体, 因此认为伴星是其他中子星;
2. 在大质量脉冲双星 0655 + 09 圆形轨道系统中找到了光学对应体, 它是预期的白矮星;
3. 在小质量脉冲双星 0820 + 02 系统中明显有一个白矮星;
4. 对小质量脉冲双星 1855 + 09 系统中的伴星有不同看法。Kulkarni 等认为系统包括一个冷的白矮星。

光学观测证实了常规恒星演化学说, 增进了我们对中子星的形成与演化过程的了解。

球状星团 M28 中发现的第一颗脉冲星 PSR1821 - 24 在 400MHz 的流量为 25mJy, 相应的射电亮度为 $L_{400} = S_{400}d(\text{kpc})^2$ 。比已知的脉冲星最小亮度大 3 个数量级, 与观测的脉冲星光度律相耦合。球状星团中第一颗脉冲星的发现, 直接的启示就是球状星团中会有更多的脉冲星。

球状星团中脉冲星的发现, 也再次提起这些原始系统中的中子星起源问题。原始中子星可能从大的磁场强度开始, 然后磁场很快减弱到渐近值 $10^8 - 10^{10}\text{G}$, 并开始射电辐射。在浓密星团中, 远距离双星能被通过的场星摄动所影响而产生加速脉冲星。而在低密度星团中或更密近的束缚双星中, 通过交会不足以使系统破裂, 但是能够导致轨道异常。M₄ 双星系统中所测到的异常与模型符合得很好。

Kulkarni 等人认为在球状星团中的脉冲星数目为 10^4 个, 脉冲星生成率超过星团小质量 X 射线双星生成率 100 倍。而在标准模型中, 一个典型富星团仅有 10% 的中子星经受潮汐俘获。所以在每个质量为 $10^6 M_{\odot}$ 的星团中, 应有 10^3 个中子星。

已知的星团脉冲星轨道周期的分布也与标准模型相抵触。仅少数宽轨道系统与模型相符, 多数星团脉冲星是由远距双星瓦解或双星中伴星烧蚀形成的, 如 PSR1957 + 20。也许吸积导致双星系统瓦解模型能解释观测样品。但是, 目前对于球状星团脉冲星的生成与演化尚无统一的认识。

四、结 束 语

近 10 年来, 脉冲星的巡天与研究取得了突飞猛进的发展。从场脉冲星到毫秒脉冲星、脉冲双星、球状星团脉冲星、脉冲星风星云及脉冲星与超新星遗迹成协等的观测和研究, 不仅使我们对中子星从生成到中年、老年的演化有了进一步的认识, 而且成为探索星际空间的重要途径。脉冲星的观测与研究已成为天体物理学中不可缺少的部分。作为中子星的最极端的物理现象的研究, 使它在当代物理学中占有重要地位。

近年来观测者与理论家国际网的建立, 是脉冲星工作的一个显著进展。近几年来国内的学者也在积极活动, 一些脉冲星小组相继建立, 一些天文工作者到国外去参加观测与研究。每年都有一些有关文章在国内外发表。但是, 很多天文学家殷切地希望建立我国自己的较好的脉冲星观测系统。只有建立了自己的观测基地, 才能使我国的脉冲星研究工作进入世界行列之中。

感谢吴鑫基教授对本文给予的关心和十分有益的帮助。

参 考 文 献

- [1] Kulkarni, S. R., in *Neutron Stars and Their Birth Events*, ed. by W. Kundt., p. 59, (1990).
 [2] Ogelman, H. and van den Heuvel, E. P. T., (ed), *Timing Neutron Stars*, (1989).
 [3] Lyne, A. G. and Smith, F. G., *Pulsar Astronomy*, (1990).
 [4] Manchester, R. N., Lyne, A. G., Robinson, C., Amico, N. D., Bailes, M., and Lim, J., *Nature*, 352 (1991), 219.
 [5] Biggs, J. D. and Lyne, A. G., *M. N. R. A. S.*, 254 (1992), 257.
 [6] Johnston, S., Lyne, A. G., Manchester, R. N., Kniffen, A., Amico, D. N., Lim, J. and Ashworth, M., *M. N. R. A. S.*, 255 (1992), 401.
 [7] 吴鑫基, 毫秒脉冲星的巡天观测研究, 河外天体巡天专题讨论会文集, p. 35, (1989).

(责任编辑 刘金铭)

New Pulsar Surveys and Research

Kang Liansheng

(*Beijing Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract

New pulsar survey has uncovered millisecond pulsars in the Galactic disk and globular cluster systems. High frequency surveys have penetrated the inner Galaxy and discovered a large number of predominantly young pulsars. Combinations of radio and optical observations have resulted in a reasonable understanding of the evolution of the magnetic field in pulsars from birth to very late stages. The discovery of three new pulsar-SNR association have vastly improved our understanding of the formation of neutron stars. The discovery of new millisecond and binary pulsars, the so-called "recycled pulsars" has offered new insights in the evolution of their progenitors, the low mass X-ray binaries. After the discovery of the pulsars in the globular cluster system, the pulsars and the eclipse of the X-ray binaries have become probes in the formation and evolution of neutron stars in the most ancient part of the Galaxy. The observation of radio pulsars have revealed more and more mystery of the formation and evolution of neutron stars. Pulsar research has become an exiting subject in astrophysics.