

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2015.04.05

旋转射电暂现源研究进展

龚奥博^{1,2}, 闫 振², 沈志强², 吴理歌²

(1. 北京师范大学 天文系, 北京 100875; 2. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 旋转射电暂现源是 McLaughlin 等人在 2006 年采用单脉冲搜寻技术, 对 Parkes 射电望远镜多波束脉冲星巡天数据的处理过程中发现的一类特殊天体。该类天体在绝大多数时间都处于射电宁静状态, 偶尔发射特征宽度为毫秒量级的脉冲信号。对其进行长期脉冲到达时间观测发现, 其具有类似于脉冲星到达时间特性, 但目前还不清楚该天体和脉冲星之间的具体关系。综述了近 10 年来射电以及其他波段的观测研究和理论模型方面的进展。在射电观测方面, 主要介绍观测认证技术 (包括零色散滤波、DM 搜寻、阈值设定、匹配滤波和效果图检验等)、到达时间以及偏振方面的观测研究进展; 在其他波段方面, 主要介绍 X 射线、光学以及近红外波段的观测研究进展。在相关理论模型方面, 主要介绍远距离的脉冲星模型, 物质与脉冲星磁层相互作用模型以及脉冲星磁层辐射带模型等研究进展。最后将对射电暂现源观测研究进行总结与展望。

关键词: 旋转射电暂现源; 脉冲到达时间; 辐射机制

中图分类号: P161 **文献标识码:** A

1 引 言

1967 年 Hewish 等人^[1]在开展行星际闪烁研究过程中意外地发现了射电脉冲星。脉冲星是一类发射具有严格周期性信号的特殊天体^[2]。1968 年 Gold^[3]提出的“灯塔模型”被大多数天文学家接受, 该模型认为脉冲星是一类具有高强磁场且快速自转的中子星, 其辐射发自两磁极并呈球状, 由于自转轴和磁轴不重合, 辐射束每扫过地球一次, 观测者就能探测到一个脉冲。

早期的脉冲星都是通过搜寻其单脉冲发现的, 但是该方法只能发现流量很强的脉冲星。由于脉冲星本身具有严格的周期性信号, 随着技术的不断发展, 采用傅里叶方法搜寻脉冲星周期信号并认证脉冲星成为可能。到目前为止, 已知的大约 2000 多颗脉冲星中绝大多数是采用此方法发现的^[4]。但在 2006 年, McLaughlin 等人^[5]采用单脉冲搜寻方法, 通过对

收稿日期: 2015-04-08; 修回日期: 2015-05-20

资助项目: 国家自然科学基金 (11173046, 11403073), 上海市自然科学基金 (13ZR1464500)

通讯作者: 闫振, yanzhen@shao.ac.cn

Parkes 射电天文望远镜 1998 年到 2002 年间多波束脉冲星巡天数据进行重新处理, 发现了 11 个特殊的爆发类天体。这些天体信号呈短时标脉冲爆发, 其脉冲辐射的持续时间范围为 2 ms~3 ms, 脉冲之间的平均间隔范围为 4 min~3 h。通过对其脉冲爆发的到达时间的观测, 发现这些天体具有脉冲星的到达时间特性, 其周期约为 0.4 s~7 s 之间。进一步理论分析表明, 这些信号应该来自于旋转的中子星, 主要原因如下: (1) 通过脉冲宽度推算其辐射区大小 ≤ 300 km, 远小于白矮星的理论半径; (2) 其辐射亮温度约为 10^{20} 到 10^{24} K, 与射电脉冲星相同; (3) 具有潜在的周期性; (4) 一些源的周期增加率与普通脉冲星相同。因而该类天体被称为“旋转射电暂现源”(Rotating Radio Transient, RRAT)^[6]。

为了进一步揭示 RRAT 的性质及其物理特征, 国内外天文学家都对其进行了相关的观测和研究工作。国际上很多大型射电望远镜 (如 Parkes, Arecibo, GBT 等) 都将 RRAT 作为重要研究目标之一。Deneva 等人^[7]在 2009 年利用 Arecibo 射电望远镜对赤经为 30° 到 78° , 赤纬为 -5° 到 $+5^\circ$ 的银河系内区域进行巡天, 共发现 7 颗 RRAT。Shitov 等人^[8]利用 Puschino 射电望远镜发现了 RRAT J2225+35。在 2010 年至 2011 年, Keane 等人^[6, 9]和 Burke-Spolar 等人^[4]利用 Parkes 多波束巡天分别发现了 17 颗和 7 颗 RRAT。Burke-Spolar 等人^[10]通过 Parkes, GBT 以及 Arecibo 的巡天数据又发现了 13 颗新的 RRAT。Karako-Argaman 等人^[11]2015 年通过对 Green Bank 射电望远镜脉冲星巡天数据的处理, 发现了 21 颗 RRAT。截止到目前总共发现了 117 颗 RRAT, 其中有 29 颗得到了旋转周期及其周期导数, 54 颗仅得到了旋转周期, 剩余的 34 颗还有待进一步观测来得到旋转周期以及周期导数, 详细的信息参考 RRATalog^[12]。在国内, Esamdin 等人^[13]于 2008 年, Hu 等人^[14]于 2011 年分别利用南山 25 m 射电望远镜对 J1819-1458 进行了观测研究工作, 发现其脉冲为三峰结构, 并且流量强度呈现幂律谱形式。

RRAT 的观测研究不仅对揭示中子星物理有重要意义, 而且对认识银河系中恒星演化有重大作用。Keane 和 Kramer^[15]分别对银河系中脉冲星、弱 X 射线孤立中子星、旋转射电暂现源以及磁星的诞生率进行了计算, 得到结果分别为 2.8 ± 0.5 、 2.1 ± 1.0 、 $5.6_{-3.3}^{+4.3}$ 、 $0.3_{-0.2}^{+1.2}$ 个/百年, 总的中子星诞生率为 $10.8_{-5.0}^{+7.0}$ 个/百年。该结果与超新星爆发率 1.9 ± 1.1 个/百年不匹配。本文将对 RRAT 的观测研究进展进行总结, 具体如下: 第 2 章将主要介绍 RRAT 的观测认证技术, 主要包括零色散滤波、DM 搜寻、阈值设定、匹配滤波以及效果图检验等步骤; 第 3 章介绍 RRAT 射电波段的观测研究进展, 主要包括脉冲到达时间观测研究以及偏振观测研究; 第 4 章主要介绍光学、近红外以及 X 射线波段对 RRAT 的观测研究进展; 第 5 章将介绍 RRAT 相关的理论模型; 最后将进行简单的总结和展望。

2 观测认证技术

由于 RRAT 信号是一系列不连续的爆发, 具有不可预测性, 对于未知 RRAT 的搜索宜通过脉冲星搜寻的模式进行观测, 即使对于已知的 RRAT 也不能用常规的脉冲星周期折叠的模式进行观测研究, 只能通过脉冲星搜寻模式对其进行观测。正是由于 RRAT 的信号为不

连续脉冲, 其穿过星际介质会有明显的色散效应^[16]。所谓色散效应, 指在一定射电观测频段范围之内, 脉冲频率高的部分会比频率低的部分先到达, 两者时间差如下^[17]:

$$\Delta t \simeq 4.15 \times 10^6 \times (f_{\text{low}}^{-2} - f_{\text{high}}^{-2}) \times DM, \quad (1)$$

其中 Δt 是高频与低频的时间差 (ms), f_{high} 为高频率值 (MHz), f_{low} 为低频率值 (MHz), DM 是相关脉冲星的色散值 ($\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$)。色散效应是 RRAT 信号与其他干扰信号最本质的区别, 有关 RRAT 的观测认证技术正是基于这一本质。接下来本文将主要介绍 RRAT 观测认证技术, 主要包括零色散滤波、DM 搜寻、阈值设定及匹配滤波、效果图检验等一系列步骤。

2.1 零色散滤波

在射电波段观测不可避免地会受到人工信号的干扰, 对 RRAT 的观测来说尤为明显, 这是因为 RRAT 具有短时爆发特性。基于人工干扰信号 (Radio-Frequency Interference, RFI) 不具有色散效应这一基本特征, 研究者提出了“零色散”滤波这一消干扰方法^[18]。基本操作步骤如下, 首先计算数据中每个采样点上所有通道合起来的平均值, 接着再用每个采样点上的每个通道的值减去这个平均值从而得到一个新的值, 其定义如下:

$$S'(f_i, t_j) = S(f_i, t_j) - \frac{1}{n_{\text{chans}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{chans}}} S(f_i, t_j), \quad (2)$$

其中 t_j 是数据中的第 j 个采样点, f_i 表示 t_j 上第 i 个通道, n_{chans} 表示有 n 个频率通道, S 是还未处理前的采样点上通道的值, S' 是处理后的采样点上通道的值。在接下来的 DM 搜寻中将会处理得到 S' 的值。

图 1 展示的是通过脉冲星数据处理软件 Sigproc^[19] 产生的模拟数据来对该滤波进行的效果检验。图 1 (a) 是还未采用零色散滤波的灰度图, 从图中可以看见有一个带宽很宽的 RFI; 图 1 (b) 是采用零色散滤波后得到的灰度图, 可以看见 RFI 基本被消除; 图 1 (c) 则是消色散后, 将通道加起来的脉冲轮廓。通过该图可以看出“零色散”滤波能够很好地消除 RFI, 从而让数据中的脉冲显现出来。

2.2 DM 搜寻

通过零色散滤波可以消除大部分强干扰, 但为了进一步认证真实的 RRAT 信号, 需要采用 DM 搜寻的方法。所谓 DM 搜寻法就是采用一系列 DM 值对观测数据进行消色散, 从而得到不同 DM 值的多个时间序列值。在这些时间序列中, 在对应源的真实 DM 附近处其时间序列的信噪比最强, 在真实 DM 两侧的时间序列的信号强弱都有一个渐变规律。无论是未知的还是已知的 RRAT 都可采用 DM 搜寻来认证^[20]; 所不同的是, 对于未知的 RRAT, 其 DM 搜寻的最大 DM 值通常根据在该源方向上电子密度模型来进行估计^[21]。但通常由于电子密度模型的不确定性, 设置的最大 DM 值一般比模型拟合出来的要高。

上述的 DM 搜寻结果通常用横坐标是时间, 纵坐标是 DM 序列的二维灰度图来直观表示。图 2 展示的就是该结果的二维灰度图, 该图的横轴表示时间, 其范围为 0~400 s, 纵轴表示一系列 DM 通道, 通道个数为 0~550 个, 黑色圈的大小代表脉冲流量的强弱。从图上看出现在 DM 通道为 330 左右黑圈最大, 并且在通道 300~350 这一范围内黑圈呈现一种由小变大,

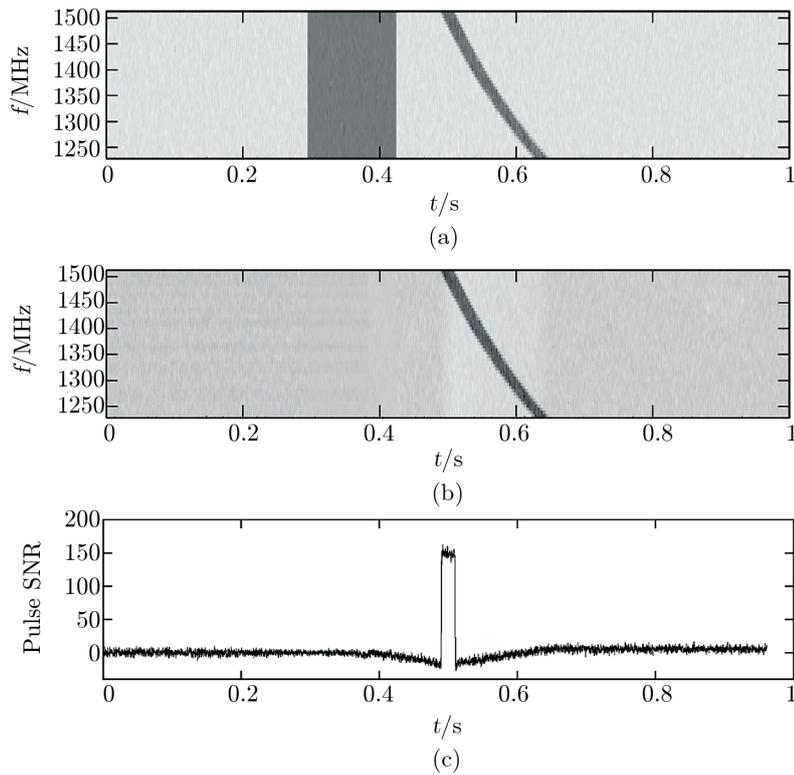


图 1 模拟效果检验图^[18]

再由大变小的渐变规律。这表明探测到一颗脉冲星, DM 通道为 330 所对应的 DM 值为该脉冲星的真实 DM。另外在图中 $DM = 0$ 通道处存在很多黑圈, 表明大气中存在很多人造信号的干扰。

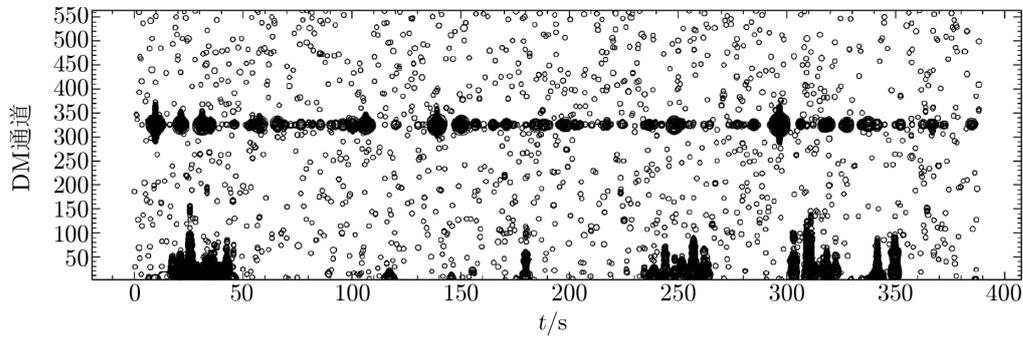


图 2 DM 搜寻效果图^[20]

2.3 阈值设定及匹配滤波

DM 搜寻的二维灰度图主要是为了验证脉冲信号是否真实存在,但这些脉冲信号的获得还需要通过匹配滤波的帮助,为了保证匹配滤波的成功率,还需要进行信噪比阈值的设定。在只有辐射计噪声存在的数据中,其信噪比阈值通常由正态分布统计来确定,由其拟合的值通常为 4 左右。但在实际操作中,由于大气中人造信号的干扰,得到的数据并不符合高斯统计,因此需要根据人造信号的强度来决定阈值的大小^[20]。

设置好阈值后,为了搜寻数据中有用的脉冲信号,需要用到平滑匹配滤波^[22],其基本步骤如下。

(1) 假定有一个采样点个数为 M 的时间序列 $S(j)$ (j 表示第 j 个采样点)。对其进行 2^m 的平滑操作 (m 在这里为整数),即将连续 2^m 个采样点流量值相加取平均,最后得到一个采样点为 $N = M/2^m$ 的 $S(i)$ 序列 (i 表示第 i 个采样点)。

(2) 假定阈值大小为 t 。首先需要计算平滑得到的 $S(i)$ 的均值 E 和方差 D ,其表达式分别为:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N S(i)}{N}, \quad D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N S(i)^2 - N \times E^2}{N-1}}. \quad (3)$$

分别算出 E 和 D 之后,再将公式 $\frac{S(i)-E}{D}$ 得到的值与阈值 t 比较,如果大于阈值,那么就将这个采样点的位置 i 、脉冲流量 $S(i)$ 、此时的均值 E 以及方差 D 记录下来,表示找到一个脉冲。

(3) 当把 N 个采样点遍历一遍之后,假定此时找到 n 个脉冲。接下来需要重新定义均值 E 和方差 D ,其表达式分别为:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N S(i)}{N-n}, \quad D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N S(i)^2 - (N-n) \times E^2}{N-n-1}}. \quad (4)$$

计算完成后再次进行脉冲的寻找,最后得到需要的脉冲信号。替换步骤 (1) 中 m 的值,继续进行平滑匹配滤波并寻找可靠信号。上述步骤两次进行均值 E 和方差 D 计算的主要目的是为了防止数据中强脉冲对均值和方差造成偏差^[20]。

2.4 效果图检验

图 3 是通过零色散滤波、DM 搜寻、阈值设定及匹配滤波等步骤后,对 Crab 脉冲星数据处理所产生的单脉冲搜寻效果检验图。图 3 (a) 的纵轴是脉冲个数,横轴是信噪比,从图可见信噪比越高的脉冲个数越少。图 3 (b) 的纵轴是脉冲个数,下部分的横轴是 DM 通道的个数,上部分的横轴是 DM 通道所对应的 DM 值,可以清晰地发现 57 左右的 DM 处有一个峰值,这与 Crab 脉冲星真实的 DM 值相对应。图 3 (c) 的纵轴是 DM 通道个数,横轴是信噪比,可见最大的信噪比总是在真实 DM 附近处产生。图 3 (d) 是 DM 搜寻图,纵轴是 DM 通道数,约为 150 个左右,横轴是观测时间。图中圈的大小代表流量的大小,可见在真实 DM

处圈总是最大的, 并且在真实 DM 附近, 圈的大小总是呈现从最小值到最大值再到最小值的渐变规律。

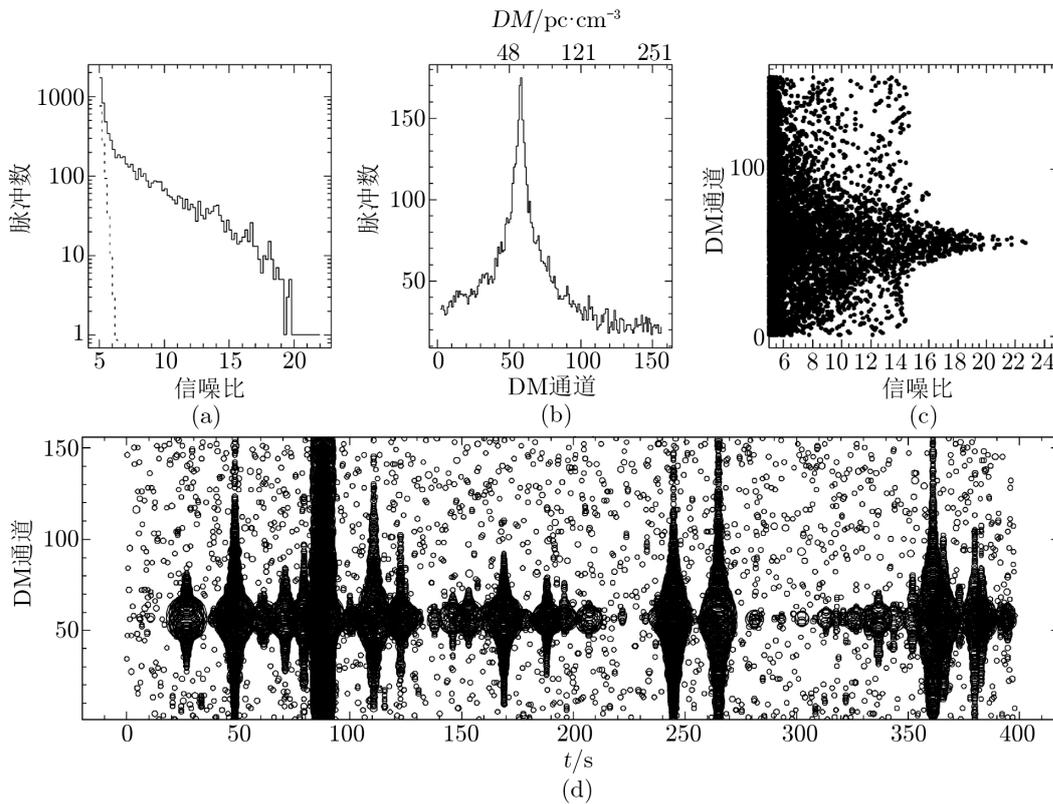


图 3 单脉冲搜寻检验图^[20]

3 RRAT 射电观测研究

目前对 RRAT 射电观测研究主要包括脉冲星到达时间的观测, 用其来拟合出 RRAT 的周期、周期变化、自行、特征年龄、旋转动能损失率、表面磁场强度等参数, 以及对 RRAT 的偏振观测, 用来研究 RRAT 的辐射特性和辐射区的结构。

3.1 RRAT 脉冲到达时间观测

在发现一颗 RRAT 之后, 为了深入地研究其物理特征和性质, 需要进行脉冲到达时间观测。其能够用来拟合出 RRAT 的周期 P 以及周期导数 \dot{P} , 在假定 RRAT 都是旋转中子星的条件下, 将 P 以及 \dot{P} 代入表面磁场强度公式^[17]: $B = 3.2 \times 10^{19} \sqrt{P\dot{P}} \simeq 10^{12} G \left(\frac{\dot{P}}{10^{-15}} \right)^{1/2} \left(\frac{P}{s} \right)^{1/2}$, 特征年龄公式^[17]: $\tau_c = \frac{P}{2\dot{P}} \simeq 15.8 \text{Ma} \left(\frac{P}{s} \right) \left(\frac{\dot{P}}{10^{-15}} \right)$, 以及旋转动能损失率公式^[17]: $\dot{E} \simeq 3.95 \times 10^{24} \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \left(\frac{\dot{P}}{10^{-15}} \right) \left(\frac{P}{s} \right)^{-3}$, 可得表 1 所列出的参数。

表 1 29 颗 RRAT 相关参数

Name	P/s	$\dot{P}/10^{-15}$	$B_s/10^{12}G$	τ_c/Ma	$\dot{E}/10^{24}J \cdot s^{-1}$	Reference
J0201+7005	1.34918445708	5.514	2.8	3.9	8.9	[11]
J0410-31*	1.879	0.880	1.3	33.7	0.45	[10]
J0628+09*	1.241	0.548	0.8	35.8	0.97	[7]
J0847-4316	5.9774927370	119.94	25.1	0.8	2.0	[6, 25, 26]
J0941-39*	0.587	4.4	1.6	2.1	73.9	[4]
J1048-5838*	1.231	12.19	3.9	1.6	22.2	[6, 9]
J1226-3223*	6.193	4.312	5.2	22.7	0.06	[4, 6]
J1317-5759	2.64219851320	12.560	6.3	3.2	2.5	[5, 6, 25, 26]
J1444-6026	4.7585755679	18.542	10.0	4.0	0.6	[6, 25, 26]
J1513-5946	1.046117156733	8.5284	3.0	1.9	29.4	[6]
J1538+2345	3.4493849348	6.9	4.9	8.0	0.66	[11]
J1554-5209	0.1252295584025	2.29442	0.5	0.9	4605.9	[6]
J1623-08*	0.503	1.958	1.0	4.1	52.2	[24]
J1652-4406	7.707183007	9.5	8.6	12.8	0.1	[6]
J1653-2330*	0.545	13.51	2.7	0.6	283.3	[4, 6]
J1707-4417	5.7637770030	11.65	8.3	7.8	0.2	[6]
J1739-25*	1.818	0.29	0.7	99.0	0.2	[12]
J1754-30*	1.320	4.424	2.4	4.7	6.5	[5, 6]
J1807-2557	2.76419486975	4.994	3.8	8.8	0.9	[6]
J1819-1458	4.26316403291	575.171	50.1	0.120	28.76	[5, 6, 13, 23, 26]
J1826-1419	0.770620171033	8.7841	2.5	1.3	79.4	[6, 25, 26]
J1839-01*	0.933	5.943	2.4	2.5	24.8	[5, 6]
J1840-1419	6.5975626227	6.33	6.5	16.5	0.1	[6]
J1846-0257	4.4767225398	160.587	25.1	0.4	6.3	[6, 25, 26]
J1848-12*	0.414	4.403	1.4	1.4	210.7	[5, 6]
J1854+0306	4.5578200962	145.125	26.0	0.50	6.1	[6]
J1913+1330	0.92339055858	8.6799	2.5	1.6	39.8	[5, 6, 25, 26]
J2105+6223	2.3048788617	5.0	3.4	7.4	1.6	[11]
J2325-0530	0.86873511227	1.029	0.96	13	6.2	[11]

注: 带有“*”的 RRAT 其 B_s , τ_c 以及 \dot{E} 由本文作者通过相关公式导出。

由于 J1819-1458 的脉冲丰富, 且脉冲强度高, 适合用来分析脉冲结构以及跃变 (glitch) 现象。2008 年, Easmdin 等人^[13]利用新疆南山 25 m 射电望远镜得到了 RRAT J1819-1458 更精确的位置信息, 在观测到的 162 个爆发中总共有 5 个显示有双峰结构, 并且他们通过脉冲计时残差表明 J1819-1458 的脉冲具有双峰结构。Lyne 等人^[23]2009 年报告, 通过对 Parkes 及 Lovell 望远镜上 RRAT J1819-1458 五年观测数据的计时分析, 他们发现 RRAT J1819-1458 的脉冲是三峰结构的。除此之外, 他们通过 J1819-1458 的计时分析得到了 J1819-1458 旋转频率的演化图 (见图 4), 从图中可以看出 J1819-1458 有两个相隔很近的旋转频率增加的

跃变 (glitch)。Lyne 等人将 J1819-1458 与其他 11 个典型的跃变脉冲星进行了比较, 发现 J1819-1458 发生跃变后, 其旋转频率导数幅度有净减少, 这与其他典型脉冲星的跃变导致幅度增加不同。在标准的跃变模型中, 中子星外壳和其耦合核心之间具有超流中子体, 由于超流体和星壳之间的角速度差, 从外壳出来并镶嵌在核心的涡流线会受到强力的作用, 当涡流线突然消失, 就会产生跃变现象。而对于 J1819-1458 这种反常的跃变行为, Lyne 等人认为, 其跃变可能不是由于外壳与超流体之间的角速度差而是由于其高强度磁场导致的外壳形变所引起。

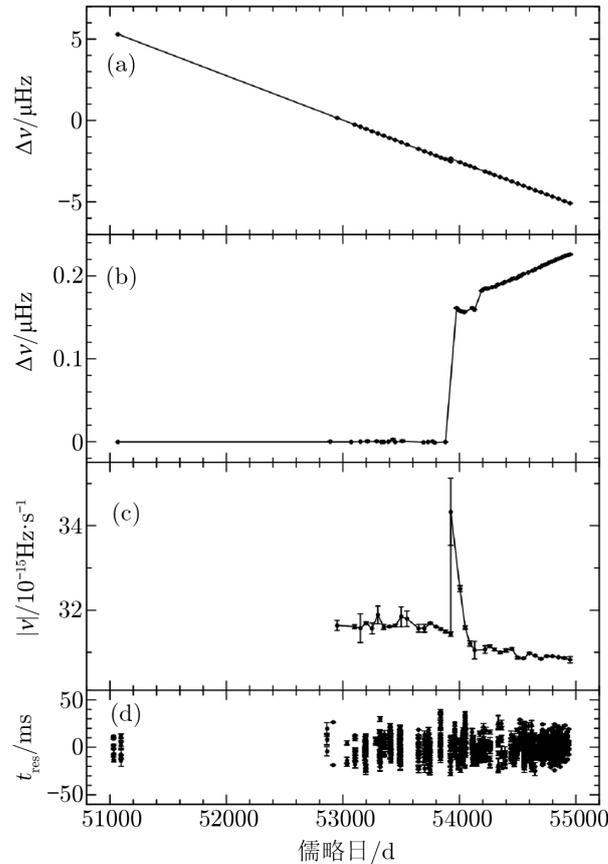


图 4 J1819-1458 旋转频率演化^[23]

为了分析 RRAT 与其他脉冲星如磁星、不规则 X 射线脉冲星以及弱 X 射线孤立中子星等之间的关系以及相互演化过程, McLaughlin 等人^[25] 2009 年对 7 颗 RRAT 源在 $P - \dot{P}$ 图上的分布进行了分析, 认为有些 RRAT 与普通脉冲星类似, 有些 RRAT 位于年老脉冲星的位置, 可能是其辐射正在消亡的年老脉冲星, 还有些 RRAT 分布在弱 X 射线孤立中子星附近, 这表明 RRAT 也许是普通脉冲星与弱 X 射线孤立中子星的过渡天体, 另外还有一颗 RRAT J1819-1458 与磁星的分布接近。Keane 等人^[6] 2011 年将观测到脉冲到达时间的 RRAT 的数目提高到 14 个, 并通过 $P - \dot{P}$ 进一步分析认为 RRAT 与普通脉冲星的辐射机制可能不甚

相同。Karako-Argaman 等人通过 Green Bank 以及 LOFAR 对发现的 21 颗 RRAT 进行后续的观测, 得到 4 颗 RRAT 的 P 以及 \dot{P} 。将上述 RRAT 的 P 以及 \dot{P} 与 RRATalog^[12] 中 RRAT 的 P 以及 \dot{P} 相结合, 可以得到图 5。从图中可以看出, 除了 J1819-1458 外, 其他的 RRAT 都集中在射电活跃区内; 另外所有的 RRAT 都在“death valley”之上, 表明 RRAT 基本都是活跃的脉冲星。从图中还可以看出 RRAT 的表面磁场强度范围在 $10^8 \sim 10^{10}$ T, 特征年龄在 $100 \text{ ka} \sim 1 \text{ Ga}$, 能量损失率在 $10^{23} \sim 10^{29} \text{ J/s}$ 。从图中 RRAT、NULLs、XDINS 与 MAGNETARs 分布情况来看, 它们之间可能具有某种演化关系。

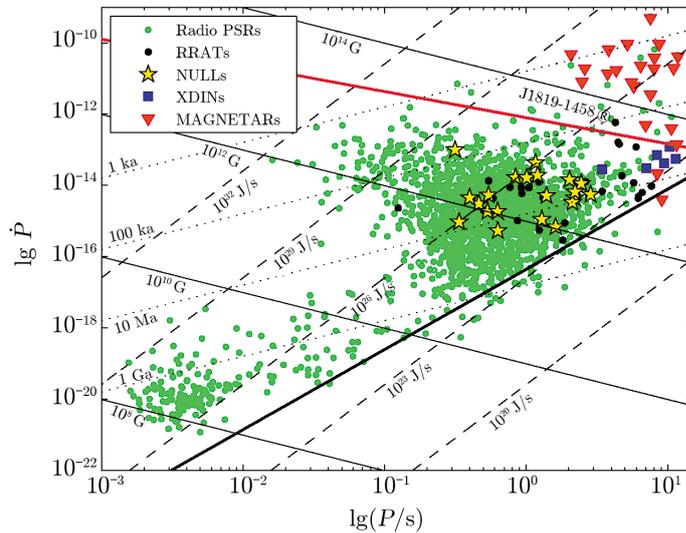


图 5 RRAT 的 $P - \dot{P}$ 图分布

绿点表示正常的射电脉冲星, 黑点表示旋转射电暂现源, 黄色五角星是零脉冲星, 红色倒三角表示磁星, 蓝色方形表示弱 X 射线孤立中子星。细的实线是表面磁场强度线, 虚线是能量损失率线, 点线是特征年龄线。粗的红色实线是射电活跃区与宁静区的分界线^[27], 粗的黑色实线是脉冲星与“death valley”分界线^[28]。图中的射电脉冲星 (Radio PSRs) 数据来自澳大利亚国家望远镜中心 (Australia Telescope National Facility, ATNF) 的脉冲星目录^[29], 磁星 (MAGNETAR) 的数据来自于麦吉尔大学的磁星目录^[30], 弱 X 射线孤立中子星 (XDINS) 的数据来自于 Ertan 等人的文章^[31], RRAT 的数据中的 25 颗来自于 RRATalog^[12], 4 颗来自于 Karako-Argaman 等人的文章^[11], 零脉冲星 (NULLs) 的数据来自 Wang 等人的文章^[32]。

一般只能探测到 RRAT 单个随机的独立脉冲, Palliyaguru 等人^[26] 2011 年对 8 个 RRAT 分别进行长时期和短时期的脉冲到达时间观测研究表明, 其中两颗 RRAT J1819-1458 以及 J1317-5759 相对于随机的脉冲来说更容易探测到两个或者三个连续的脉冲。他们通过 Lomb-Scargle 方法对脉冲到达时间的周期性进行统计分析, 发现有 6 颗 RRAT 在脉冲到达时间上具有显著的周期性, 分别是 J0847-4316、J1317-5759、J1754-30、J1819-1458、J1826-1419 以及 J1913+1330, 周期时间尺度从最短的 25 min 到最长的 2300 d; 同时对 RRAT 每天的脉冲发生率进行了周期性分析, 结果表明短周期尺度 RRAT 与观测到的零脉冲星是类似的。他们分析认为, 这种脉冲到达时间上显著的周期性可能是由于 RRAT 的磁层中粒子密度的变化引起的。

上述对 RRAT 观测中心频率基本都在 1.4 GHz 左右。2014 年, Losovsky 和 Dumsky^[33]

利用 LSA 射电天文望远镜在 111 MHz 对 16 颗 RRAT 进行了观测研究。他们利用快速叠加算法 (Fast Folding Algorithm, 简称 FFA) 对数据进行处理之后发现, RRAT 即使在脉冲宁静期, 辐射的脉冲周期与脉冲活跃期的脉冲周期一致; 并且通过脉冲辐射在 111 MHz 时最大的峰值没有超过 100 mJy, 他们认为, 频率越高越难探测到 RRAT。2015 年, Karako-Argaman 等人^[11] 利用 GBT 以及 LOFAR 在 350 MHz 波段对 RRAT 进行了搜寻和研究工作, 共发现了 21 颗 RRAT, 其中 4 颗 RRAT 既得到了 P 又得到了 \dot{P} 。他们通过讨论这些 RRAT 的爆发率、周期、色散以及空间分布等特征, 发现 RRAT 的 DM 和空间分布与普通脉冲星是相似的, 但它们的周期分布与普通的脉冲星周期分布非常不同。他们还发现旋转较慢的脉冲星比旋转较快的脉冲星更容易辐射类 RRAT 脉冲。

3.2 RRAT 偏振观测研究

通过对 RRAT 的偏振观测研究, 能够获得其辐射区结构、磁场情况以及辐射机制等信息。但对 RRAT 来说, 由于其脉冲的非周期性, 因此不能够通过简单的周期叠加方式进行脉冲轮廓的分析。这时主要采用的方法是选择单个明亮的脉冲, 然后将它们进行叠加来产生积分轮廓。

2009 年, Karastergiou 等人^[34] 首次通过 Parkes 望远镜对 RRAT J1819-1458 进行了偏振观测研究。他们对 J1819-1458 中 72 个明亮的脉冲进行了积分, 如图 6, 图中红色虚线是线偏振的积分轮廓, 蓝色点线是圆偏振的积分轮廓, 黑色实线是总的流量强度。从图中可以清晰地看见脉冲轮廓具有三峰结构, 这种结构与图中下部分的 S 形状偏振位置角抖动是一致的。在偏振位置角与相位图中, 脉冲相位在 -3.5° 与 $+3^\circ$ 处有两个清晰的正交跳变, 这解释了为什么线偏振度在每个峰值结构下相对流量较低 (总流量的 20% ~ 30%) 的原因。

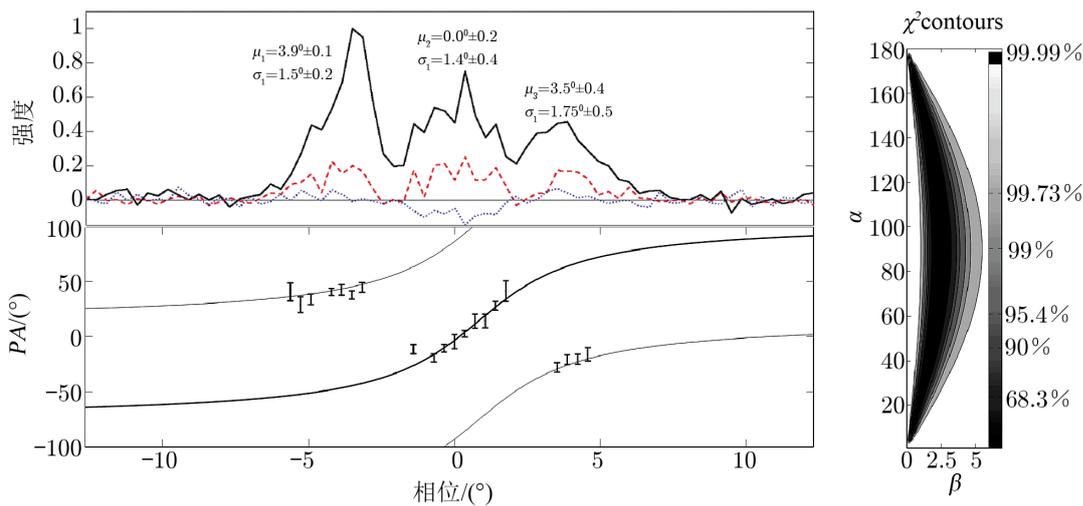


图 6 J1819-1458 积分偏振轮廓图^[34]

Karastergiou 等人认为虽然此次观测的样本较少, 但却足够用来解释 J1819-1458 的辐射模型。其具有 S 形的偏振位置角表明其具有偶极磁场结构以及三峰的脉冲轮廓, 并且其偶

极磁场轴与旋转轴成 90° 夹角。这次的偏振观测再次表明旋转动能损失率与偏振度有关,而不是脉冲星的特征年龄。线偏振度越高的源,其旋转动能损失率也越高。

4 RRAT 其他波段观测研究

4.1 X 射线波段

2006年, Reynolds 等人^[35]通过钱德拉望远镜首次探测到 RRAT J1819-1458 的 X 射线对应体,其 X 射线辐射谱表明该源具有一个吸收黑体谱,温度 kT 为 (0.12 ± 0.04) keV,该辐射谱与年龄为 $10^4 \sim 10^5$ a 的冷却中子星一致,这表明 RRAT 与冷却中子星之间可能具有某种演化关系。McLaughlin 等人^[36]2007年通过牛顿 X 射线望远镜对 RRAT J1819-1458 再次进行了观测,他们认为, J1819-1458 在 X 射线探测到的脉冲性质与其他中等年龄脉冲星在 X 射线波段的性质一致。Rea 等人^[37]2009年在 J1819-1458 周围发现了 X 射线延展辐射,表明 J1819-1458 周围可能有脉冲星风星云存在。但通常观测到 X 射线星云的旋转动能损失率是 $10^{26} \sim 10^{32}$ J/s,特征年龄为 $0.6 \sim 30$ ka,这与 J1819-1458 的旋转动能损失率 3×10^{25} J/s,以及特征年龄 117 ka 有很大差距;另外 J1819-1458 根据其自身的距离以及辐射推断出来的 X 射线效率 (0.2) 比其他观测的脉冲星 X 射线效率 ($10^{-6} \sim 10^{-1}$) 高很多。Rea 等人认为可能的原因有三种:(1) J1819-1458 的实际距离比 DM 推测出来的距离要小很多;(2) 可能是由于脉冲星超声速穿过其周围的介质而导致的激波星云,这种情况在年老的脉冲星中比较常见,但 J1819-1458 的自行速度只有 20 km/s,这与激波星云不符;(3) 可能是 J1819-1458 激发星云具有不同的机制,比如双极性扩散。Carnero-Arranz 等人^[38]对 Rea 等人提出的问题做了进一步研究,他们认为在假定 X 射线是由同步加速辐射产生的情况下,要将 X 射线的延展辐射解释成脉冲星风星云,需要具备以下几个条件:(1) 大部分旋转动能减慢能量被传递到粒子中;(2) 大部分的粒子中的能量以软 X 射线或者极紫外线的形式辐射;(3) 星云中的磁场强度必须要大于 1×10^{-10} T 且小于 2×10^{-9} T;(4) 脉冲星中与能量相关的电势差约为 1 kV。另外的可能性是观测到的星云为康普顿星云,并且其 X 射线辐射产生于宇宙微波背景上的逆康普顿散射。还有一种可能是脉冲星风星云是由于脉冲星磁场能量的耗散引起而不是脉冲星自身的旋转减慢导致。Carnero-Arranz 等人还认为延展辐射可能就是在观测者视线上的星际尘埃导致的 X 射线散射,从而形成了点源附近的散射晕。

除了单一的用 X 射线望远镜对 J1819-1458 进行观测外, Miller 等人^[39]于 2013 年对 J1819-1458 进行了 X 射线和射电波段的实时联测。对 X 射线谱的分析表明 J1819-1458 具有一个吸收特征的黑体谱 ($kT \simeq 130$ eV),其由两条约 1.0 和 1.3 keV 的吸收线组成。射电的脉冲与 X 射线脉冲之间的相关性分析表明, J1819-1458 的旋转轴与偶极磁场轴成 90° 角,这也证实了 Karastergiou 等人^[34]的研究。Miller 等人还认为,探测到的 X 射线光子以及射电脉冲在时间尺度上表现的随机分布,可能是由于产生射电脉冲的物理过程加热极冠区域导致。

在对 J1819-1458 进行了大量的 X 射线观测外, Kaplan 等人^[40]还对另外两个 RRAT,即 J0847-4316 以及 J1846-0257 分别进行观测,但并没有探测到 X 射线辐射,他们认为原因

可能是这两颗 RRAT 的辐射特征与 J1819-1458 不同。

4.2 光学及近红外波段

为了探究光学及近红外波段上 RRAT 的一些观测特征, Dhillon 等人^[41]首次进行了对脉冲丰富、流量高的 RRAT J1819-1458 的光学波段探测, 但他们并没有发现光学对应体。Rea 等人^[42]首次对 RRAT J1317-5759 以及 RRAT J1819-1458 进行了近红外波段的观测。其中对 J1819-1458 的观测发现了一个可能的红外对应体, 对 J1317-5759 的观测没有发现红外对应体。但由于对 J1819-1458 的观测得到的位置信息与 X 射线位置比较, 具有 1σ 的误差, 不能排除该对应体来自于其他源的辐射。随后 Dhillon 等人再次^[43]对 J1819-1458 进行了光学波段的观测, 此次采用了一种新的观测方式, 亦即在光学波段观测的同时进行射电波段的观测, 但没有发现光学对应体。

5 RRAT 理论模型

RRAT 的发现为研究脉冲星的辐射机制以及理论模型提供了很多有价值的资料。在此观测基础上, 天文学家提出了很多用来解释 RRAT 辐射机制的模型, 主要包括: 远距离的脉冲星, 物质与脉冲星磁层的相互作用, 脉冲星磁层辐射带的爆发, 夸克星, 沉寂脉冲星或者是脉冲星辐射束的磁极反转以及与弱 X 射线孤立中子星类似的脉冲星等。但随着观测资料的增多, 越来越多的天文学家认为, RRAT 与零脉冲星以及间歇性脉冲星之间应该存在某种演化关系。

5.1 远距离的脉冲星

PSR B0656+14 是三颗已知的距离地球较近且被称为“三个火枪手”的中等年龄的脉冲星之一^[44]。Weltevrede 等人^[45]对其进行了观测研究, 分析了 B0656+14 的脉冲能量分布, 发现其最亮的脉冲是平均脉冲能量的 116 倍, 这与普通脉冲星大不相同。虽然 B0656+14 有大约 0.3% 的脉冲是平均脉冲能量的 10 倍以上, 这与巨脉冲相符, 但其在脉冲持续时间上比巨脉冲要长; 其次它并没有展现出幂律谱分布, 这表明 B0656+14 与巨脉冲之间具有不同的辐射机制。因此他们考虑 PSR B0656+14 是否可以归类为 RRAT, 将其与 11 颗 RRAT 的光度进行比较, 发现有 4 颗 RRAT 的光度与之相近。他们分析发现, 如果将 B0656+14 放到实际距离的 12 倍远处, 那么观测者在每个小时将只会观测到一个脉冲, 这与 RRAT 一致, 另外 B0656+14 的脉冲持续时间也在 RRAT 参数范围内。但 B0656+14 是否属于 RRAT, 尚需要进一步的观测研究。

5.2 物质与脉冲星磁层的相互作用

与脉冲星磁层作用的物质主要有三种可能: (1) 星体周围的尘埃盘; (2) 脉冲星周围的小行星; (3) 宇宙 γ 背景来的高能光子。

在标准的脉冲星模型中, 一个旋转中子星的感生电场会把等离子体拉离星球的表面, 并将其喷射出去形成相对论风, 在相对论风中会产生正负电子对, 其产生过程形成了脉冲辐射。在极冠模型中, 电子加速和脉冲辐射发生在星体磁层的内部, 而在外间隙模型中, 这两个过

程发生在磁层外部。Li^[46]认为, RRAT 的辐射可能是由于中子星的磁层与其周围的尘埃盘相互作用的结果。假如光速圆柱中存在尘埃盘, 其会显著地影响脉冲辐射过程, 此时只有短暂的射电爆发才被允许。

但 Cordes 和 Shannon^[47]却认为 RRAT 的产生原因是由于其周围小行星的迁移运动。他们假定 RRAT 是普通的脉冲星, 观测到其大部分时间处于宁静状态的原因是由于本身不活跃或者是辐射束并不总是指向地球。另外 RRAT 的脉冲占空比明显小于普通脉冲星, 表明其磁层的间歇性辐射区比普通的脉冲星小。假如说 RRAT 本身是一颗活跃但其辐射束并不总是指向我们的脉冲星, 那么间歇性脉冲可能是由于小行星物质闯入外层磁层引起的, 行星的闯入会增加电子对产生率, 从而增加等离子体密度以及辐射强度, 在这种情况下要探测到窄脉冲只能在一个限定区域内。另外的原因可能是由于小行星物质进入外间隙, 因此产生的电子以及相干辐射被探测到。

还有一种可能的情况是, 中子星的磁层吸收了从宇宙 γ 背景来的高能光子而产生的“闪电”造成了 RRAT 脉冲爆现象。Istomin 和 Sobyenin^[48]认为磁层吸收足够多的光子后, 会在短时间内产生若干“闪电”, 同时将磁层内部填满正负电子等离子对, 填满的时间与吸收光子的时间无关, 而是与“闪电”形成的时间有关。当形成的“闪电”长度达到 1000 km, 半径达到 100 m, 与中子星极冠半径相近的时候, 磁层内部的正负电子等离子对就会随着“闪电”迁移到磁层外部, 并将磁层外部填满。上述的正负电子等离子对会限制两个连续闪电之间的时间间隔, 并使得两个独立的“闪电”分别以单独射电爆发的形式被观测到。

5.3 脉冲星磁层的辐射带爆发

RRAT 还有可能是由于低光速圆柱的脉冲星磁层中存在的辐射带爆发产生的。Luo 和 Melrose^[49]认为, 在外间隙中由于磁镜的效应成对出现, 且该区域的磁场强度约为 10^{-4} T, 距离光速圆柱较近的加速粒子在此处的辐射时间会比普通脉冲星要长。与行星辐射带类似, 脉冲星辐射带会由于传播到光速圆柱区域而瓦解, 而这个快速的瓦解就会导致其内部的粒子急速沉降, 而这个沉降就是产生射电爆发的原因。

5.4 夸克星

一颗奇异夸克星从吸积为主导的简并环状态到一个无吸积的非简并环状态的过程可能会表现出 RRAT 的特征, 这个过程会持续约 10^6 a。Ouyed 等人^[50]认为, 从夸克星爆发中喷发的简并物质由于足够的角动量会形成一个简并环, 这个环的辐射比涡流产生的辐射要明亮很多。当环的密度大于简并密度时, 夸克星磁场的漫射会导致内环半径的增加, 随着磁场逐渐消耗环的内部边缘, 其外部边缘会向外部移动。随着环的密度演化, 其环密度会在某一时刻迅速下降, 其值最终会小于简并状态要求的密度, 此时就会形成非简并环。夸克星在经历这种过程的时候就会表现出 RRAT 现象。

5.5 沉寂脉冲星或者是辐射束的磁极反转

在基于 RRAT 与传统中子星类似都是孤立中子星的假设之上, Zhang 等人^[51]提出两种观点来解释 RRAT 现象。一种是沉寂脉冲星的再次爆发, 他们根据沉寂白矮星具有再次爆发这一现象^[52], 认为中子星也可能具有类似的情形, 因为一颗射电脉冲星也许在生命末期并没

有完全沉寂, 众所周知, 正负电子对的产生在脉冲星相干射电辐射中扮演着重要的角色, 而此类脉冲星也许正经历一种正负电子对随机产生的过程, 因此观测到随机的脉冲辐射。另外一种可能是由于辐射方向上磁极的反转, 当脉冲星辐射束扫过地球时, 由于磁极反转, 此时辐射束消失, 因此探测不到射电爆发, 形成了 RRAT 长期的不活跃现象。

5.6 与弱 X 射线孤立中子星类似

Popov 等人^[53]通过分析发现, 银河系中的孤立中子星数目在 10^8 左右, 其中有 0.1% ~ 0.2% 表现出所谓的超音速自行状态, 而这个数目约为 10^5 , 正好与 RRAT 的数目相同, 并且这些孤立中子星的 P 以及 \dot{P} 与 RRAT 中的也类似。另外 RRAT J1819-1458 在 X 射线上的属性与弱 X 射线孤立中子星特点并不矛盾。通过统计分析得到的弱 X 射线孤立中子星的诞生率与 RRAT 的诞生率也相似。这都表明 RRAT 与弱 X 射线中子星具有某种内在联系。

5.7 与零脉冲星以及间歇性脉冲星存在演化关系

通过图 5, 可以看见 RRAT 的分布与零脉冲星具有相似性, 这说明 RRAT 与零脉冲星之间可能具有某种演化关系, 或者它们原本就是属于同一类脉冲星。Burke-Spolaor 和 Bailes^[4]对他们搜寻到的 RRAT 进行了分析, 认为 RRAT 是一种极端的零脉冲现象, 其可能是零脉冲星演化到末期时的一种状态。他们还发现, 一颗脉冲星 PSR J0941-39 在“零脉冲星”状态以及“RRAT”状态之间转换, 这也许是第一颗将零脉冲与 RRAT 联系起来的脉冲星。2011 年, Burke-Spolaor 等人^[10]对零脉冲星与 RRAT 之间的分布进行了比较, 再次认为 RRAT 也许是极端零脉冲星的一种表现。Keane 等人^[6]也认为零脉冲星与 RRAT 之间具有相关性, 他们考虑形成这样的原因是由于脉冲星的磁层变换引起的。Weltevrede 等人^[54]也于 2011 年发现强磁场的 PSR J1119-6127 在射电波段具有三种形态, 包括正常形态、间歇性形态以及 RRAT 形态, 只是间歇性以及 RRAT 形态非常稀少。他们还发现 PSR J1119-6127 具有非常规跃变 (unusual glitch) 现象, 这与 3.1 中 J1819-1458 的非常规跃变现象是一致的。因此他们认为 RRAT 可能不是一种单独的脉冲星种类, 而是多种其他脉冲种类极端情况的结合, 例如零脉冲星、间歇性脉冲星。2012 年, Esamdin 等人^[55]发现了第二颗在脉冲星正常形态与 RRAT 形态间转换的脉冲星——PSR B0826-34, 他们认为零脉冲星、RRAT 都是脉冲星强模式以及弱模式之间的转换行为。2013 年, Jones^[56]从理论上对 RRAT 与零脉冲之间的关系进行了分析, 他推导了一个有关极冠磁场流量密度 B 与反平行旋转频率 Ω 之间的关系的模型。当在极冠区中存在 $B \cdot \Omega < 0$ 时, 电磁簇以及离子穿过黑体辐射场, 会加快质子的产生以及离子中的光电转换。这两种状况只有在曲率辐射停止的状况下才能被观测到, 从而在极冠区势能的扰动以及上述两种状况的时间尺度的影响下就会产生模式变换以及零脉冲。因此 Jones 认为 RRAT 仅仅是观测到的零脉冲星的一种极端情况。

6 总结与展望

RRAT 是一类脉冲辐射具有非周期性, 持续时间在毫秒量级的射电脉冲星。它的发现对研究银河系中超新星的爆发以及中子星的演化具有非凡的意义。近些年来通过对其脉冲

到达时间、偏振观测等方面的研究取得了一系列的成果。到目前为止,通过单脉冲搜寻技术已经发现大约 100 颗左右的 RRAT,但得到脉冲到达时间的只有 14 颗。其中仅对 RRAT J1819-1458 在脉冲结构、跃变以及偏振观测上进行了分析,表明其具有偶极磁场、三峰结构以及非常规跃变现象。通过 14 颗得到周期以及周期导数的 RRAT,拟合出其在 $P - \dot{P}$ 图上的分布,表明有些 RRAT 与普通脉冲星相同,有些则可能是脉冲星与弱 X 射线的过渡天体,有些可能与磁星类似。

在其他波段上由于观测灵敏度以及时间分辨率水平的限制,X 射线波段仅探测到 RRAT J1819-1458 的对应体,揭示出其周围存在脉冲星风星云,且具有黑体谱特征。而在光学波段及近红外波段上,还没有观测到 RRAT 相关的对应体。随着相关技术的提高,应能探测到更多 RRAT 的 X 射线对应体,及发现其在光学以及红外波段上的对应体。

到目前为止,对 RRAT 周期辐射产生的原因依旧不甚明了,同时由 RRAT 造成的中子星诞生率与超新星爆发之间的疑难问题也有待解决,后续对其的研究需要更大更灵敏的望远镜。上海 65 m 射电望远镜的建成和投入观测^[57],并随之配备的脉冲星观测 DIBAS 设备^[58],将对 RRAT 的观测与研究提供更多可靠和宝贵的研究资料。正在建设之中的中国 500 m 射电望远镜 FAST^[59],欧洲、南非、澳大利亚以及中国等国共建的射电平方公里阵 (SKA)^[60]将在视场以及灵敏度上为 RRAT 搜寻以及研究工作提供极大的帮助。

参考文献:

- [1] Hewish A, Bell S J, Pilkington J D H, et al. *Nature*, 1968, 217: 709
- [2] Lorimer D R. *Living Rev. Relativity*, 2008, 11: 8
- [3] Gold T. *Nature*, 1968, 218: 731
- [4] Burke-Spolar S, Bailes M. *MNRAS*, 2010, 402: 855
- [5] McLaughlin M A, Lyne A G, Lorimer D R, et al. *Nature*, 2006, 439: 817
- [6] Keane E F, Kramer M, Lyne A G, et al. *MNRAS*, 2011, 415: 3065
- [7] Deneva J S, Cordes, J M, McLaughlin M A, et al. *ApJ*, 2009, 703: 2259
- [8] Shitov Yu P, Kuzmin A D, Dumskii D V, et al. *Astronomy Reports*, 2009, 53: 561
- [9] Keane E F, Ludovici D A, Eatough R P, et al. *MNRAS*, 2010, 401: 1057
- [10] Burke-Spolar S, Bailes M, Johnston S, et al. *MNRAS*, 2011, 416: 2465
- [11] Karako-Argaman C, Kaspi V M, Lynch R S, et al. *astro-ph*, 2015, arXiv:1503.05170
- [12] Cui B Y, Miller R, McLaughlin M. *The RRATalog*, <http://astro.phys.wvu.edu/rratalog/>, 2015
- [13] Esamdin A, Abdurixit D, Manchester R N, et al. *MNRAS*, 2008, 389: 1399
- [14] Hu H D, Esamdin A, Yuan J P, et al. *A&A*, 2011, 530: A67
- [15] Keane E F, Kramer M. *MNRAS*, 2008, 391: 2009
- [16] Lyne A G, Smith F G. *Pulsar Astronomy*, 4rd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 2012: 35
- [17] Lorimer D R, Kramer M. *Handbook of Pulsar Astronomy*, Cambridge University Press, 2005: 86
- [18] Eatough R P, Keane E F, Lyne A G. *MNRAS*, 2009, 395: 410
- [19] Lorimer D. <http://sigproc.sourceforge.net>, 2008
- [20] Cordes J M, McLaughlin M A. *ApJ*, 2003, 596: 1142
- [21] Cordes J M, Lazio T J. *astro-ph*, 2002, arXiv:0207156
- [22] Keane E F, McLaughlin M A. *BASI*, 2011, 39: 333K

- [23] Lyne A G, McLaughline M A, Keane E F, et al. MNRAS, 2009, 400: 1439
- [24] <http://astro.phys.wvu.edu/GBTdrift350/>, 2009
- [25] McLaughlin M A, Lyne A G, Keane E F, et al. MNRAS, 2009, 400: 1431
- [26] Palliyaguru N T, McLaughline M A, Keane E F, et al. MNRAS, 2011, 417: 1871
- [27] Baring M G, Harding A K. ApJ, 1998, 507:L55
- [28] Chen K, Ruder M. ApJ, 2006, 643: 1139
- [29] Manchester R N, Hobbs G B, Teoh A. AJ, 2005, 129: 1993
- [30] Olausen S A, Kaspi V M. ApJS, 2014, 212: 6
- [31] Ertan Ü, Çahşkan Ş, Benli O. MNRAS, 2014, 444: 1559E
- [32] Wang N, Manchester R N, Johnston S. MNRAS, 2007, 377: 1383
- [33] Losovsky B Ya, Dumsky D V. Astronomy Reports, 1991, 8: 626
- [34] Karastergiou A, Hotan A W, van Straten W, et al. MNRAS, 2009, 396: L95
- [35] Reynolds S P, Borkowski K J, Gaensler B M, et al. ApJ, 2006, 639: 71
- [36] McLaughlin M A, Rea N, Gaensler B M, et al. ApJ, 2007, 670: 1307
- [37] Rea N, McLaughlin M A, Gaensler B M, et al. ApJ, 2009, 703: L41
- [38] Camero-Arranz A, Rea N, Bucciantini N, et al. MNRAS, 2013, 429: 2493
- [39] Miller J J, McLaughlin M A, Rea N, et al. ApJ, 2013, 776: 104
- [40] Kaplan D L, Esposito P, Chatterjee S, et al. MNRAS, 2009, 400: 1445
- [41] Dhillon V S, Marsh T R, Littlefair S P. MNRAS, 2006, 372: 209
- [42] Rea N, Curto G Lo, Testa V, et al. MNRAS, 2010, 407: 1887
- [43] Dhillon V S, Keane E F, Marsh T R, et al. MNRAS, 2011, 414: 3627
- [44] Becker W, Trumper J. A&A, 1997, 326: 682
- [45] Weltevrede P, Stappers B W, Rankin J M, et al. ApJ, 2006, 645: L149
- [46] Li X D. ApJ, 2006, 646: L139
- [47] Cordes J M, Shannon R M. ApJ, 2008, 682: 1152
- [48] Istomin Ya N, Sobyenin D N. Astronomy Letters, 2011, 37: 468
- [49] Luo Q H, Melrose D. MNRAS, 2007, 378: 1481
- [50] Ouyed R, Leahy D, Niebergal B, et al. MNRAS, 2009, 396: 1085
- [51] Zhang B, Gil J, Dyks J. MNRAS, 2007, 374: 1103
- [52] Zhang B, Gil J. ApJ, 2005, 532: 1150
- [53] Popov S B, Turolla T, Possenti A. MNRAS, 2006, 369: L23
- [54] Weltevrede P, Johnston S, Espinoza C M. MNRAS, 2011, 411: 1917
- [55] Esamdin A, Abdurixit D, Manchester R N, et al. ApJL, 2012, 759: L3
- [56] Jones P B. MNRAS, 2013, 431: 2756
- [57] 沈志强. 科学, 2013, 65: 15
- [58] 闫振, 沈志强, 吴鑫基. FPSII, 2013, 48: 50
- [59] Nan R D, Li D, Jin C J, et al. International Journal of Modern Physics D, 2011, 20: 989
- [60] Colegate T M, Clarke N. Publications of the Astronomical Society of Australia, 2011, 28: 299

Research Progress of Rotating Radio Transients

GONG Ao-bo^{1,2}, YAN Zhen², SHEN Zhi-qiang², WU Li-ge²

(1.Beijing Normal University, Beijing, 100875; 2.Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China)

Abstract: Rotating Radio Transients (RRATs) are a set of special astronomical objects discovered by McLaughlin et al.(2006) during the reprocessing of the data from Parkes Multibeam Pulsar Survey with single pulse searching method. RRATs are quiescent most of the time. They only sporadically emit pulses with the order of milliseconds. Long-term observations on these objects reveal that their pulse timing property is similar to canonical pulsars. However, the relationship between these objects and canonical pulsars is so far still not clear. In this paper, we give a review about the research progress of multi-band (radio as well as other bands) observations on RRAT, and the related RRAT emission mechanism models. At radio band, this paper will mainly introduce techniques of identifying RRAT signals (such as ZERO-DM filter, DM searching, thresholding, matched filtering and diagnosing), pulse timing and polarization observation results. In addition, this paper will summarize the observational results in X-ray, optical and near-infrared bands. Apart from these, the related RRAT emission mechanism models will be introduced, including the distant pulsar model, mutual effects between the pulsar magnetosphere and material model, the emission from the pulsar magnetosphere model etc. Finally, a summary and prospects on RRAT studies will be given in the last part of this paper.

Key words: RRAT; pulse arrival time; emission mechanism model