

# PSR J0034-0721 强单个脉冲的观测研究\*

海里且木, 尼左木丁<sup>1,2</sup> 艾力·伊沙木丁<sup>3,2†</sup> 刘志勇<sup>3</sup>  
王 娜<sup>3,2</sup> 赵成仕<sup>4</sup>

(1 新疆大学物理科学与技术学院 乌鲁木齐 830046)  
(2 新疆大学 - 国家天文台联合天体物理中心 乌鲁木齐 830046)  
(3 中国科学院国家天文台乌鲁木齐天文站 乌鲁木齐 830011)  
(4 中国科学院国家授时中心 西安 710600)

**摘要** 利用南山基地 25 m 射电望远镜在 1.54 GHz 频段对脉冲星 PSR J0034-0721 强单个脉冲进行了观测. 使用单脉冲探测方法, 从 1 h 观测数据中探测到 116 个信噪比  $R_{\text{SN}} \geq 5$  的单个脉冲信号. 在 1.54 GHz 频段探测到的单个脉冲  $R_{\text{SN}}$  从 5 到 10.5, 峰值流量约是平均脉冲峰值流量的 14~29 倍, 远小于典型巨脉冲强度与其平均脉冲强度的比. 这些脉冲的强度累积分布基本符合幂律谱, 拟合得到谱指数  $\alpha = -4.3 \pm 0.4$ . 本次观测对  $R_{\text{SN}} \geq 5$  的单个脉冲探测率为 3%, 对  $R_{\text{SN}} \geq 10$  的单个脉冲探测率约为 0.08%. 这些脉冲的半峰线宽 ( $W_{50}$ ) 从 1.6 到 8 ms, 平均为 3.9 ms. 探测到的绝大多数强单脉冲发射相位集中分布在平均脉冲轮廓的峰值相位处, 但也探测到两个  $R_{\text{SN}} > 8.5$  的强脉冲相位提前平均脉冲轮廓峰值相位 33 ms 左右, 表明强脉冲发射区可能有两个, 符合前人在 40 MHz 和 111 MHz 频段的观测结果, 但 1.54 GHz 频段的平均脉冲轮廓只显示一个成份.

**关键词** 恒星: 中子, 脉冲星: 个别  
**中图分类号:** P 145; **文献标识码:** A

## 1 引言

脉冲星单个脉冲中的超强脉冲 (单个脉冲峰值流量超过平均轮廓 (AP) 峰值流量几十倍甚至更高) 现象是非常稀有的现象, 已知的这类现象包括脉冲星巨脉冲<sup>[1]</sup>、旋转暂现射电源 (RRATs) 的爆发式脉冲<sup>[2-3]</sup> 以及 Weltevrede 等<sup>[4]</sup> 发现的 PSR B0656+14 发射的不同于其巨脉冲的非常强且极其稀疏的超强射电单脉冲爆发等.

脉冲星巨脉冲是持续时间很短的超强爆发式射电脉冲发射, 巨脉冲首先是从 Crab 脉冲星中发现的<sup>[5]</sup>. 目前发现的 1 800 多颗脉冲星中, 有巨脉冲现象的脉冲星只有 11 颗, 它们是 PSRs B0218+4232<sup>[6]</sup>、B0531+21<sup>[7]</sup>、B0540-69<sup>[8]</sup>、B0656+14<sup>[9]</sup>、B1821-24<sup>[10]</sup>、B1937+21<sup>[11-12]</sup>、J1823-3021<sup>[13]</sup>、B1957+20<sup>[6]</sup>、J0034-0721<sup>[14]</sup>、B1112+50<sup>[15]</sup> 和 J1752+2359<sup>[16]</sup>, 其中前 6 颗探测到 X 射线辐射, 后 3 颗只在 111 MHz 及以下的低频频段有观测, 认为可能有巨脉冲发射<sup>[9]</sup>.

2009-05-05 收到原稿, 2009-07-01 收到修改稿

\* 国家自然科学基金 (10973026) 及西部之光 - 联合学者 (LHXZ200602) 资助项目

† aliyi@uao.ac.cn

典型的巨脉冲非常强, 可以达到平均脉冲强度的千倍以上, 且持续时间极短, 时标一般在微秒量级, 甚至观测到纳秒级结构<sup>[1]</sup>, 毫秒脉冲星 PSR B1937+21 巨脉冲亮温度高达  $10^{39}$  K<sup>[17]</sup>, Crab 的巨脉冲亮温度可以高达  $10^{38}$  K<sup>[1]</sup>, 是已知亮温度最高的天体物理现象. 目前认为, 不同于脉冲星普通脉冲, 典型巨脉冲是从脉冲星磁层光速圆柱附近发射的, 其发射区域和 X 射线乃至更高能的辐射区一致<sup>[18]</sup>.

PSR J0034-0721 的自转周期 0.943 s, 色散量 DM 较小, 为  $11.38 \text{ pc}\cdot\text{cm}^{-3}$ . 从  $P - \dot{P}$  图看, 它属于正常脉冲星, 但具有较大的特征年龄  $3.66 \times 10^7 \text{ yr}$ . Kuzmin 等<sup>[19]</sup> 通过在 111 MHz 频段对 PSR J0034-0721 的观测发现了超强的单脉冲, 在这个频段最强单脉冲峰值流量达到 AP 峰值流量的 120 倍, 该比值超过 50 的单个脉冲大约每 250 个周期发生一次, 这些脉冲很窄, 相位集中在 AP 主成分的中心区域, 脉冲特性符合巨脉冲的特点. 随后 Kuzmin 等<sup>[14]</sup>(以下简称 KE04) 在 40 MHz 和 111 MHz 作了进一步观测, 40 MHz 频段观测到的最强单脉冲峰值流量达到 AP 峰值流量的 400 倍, 他们认为随着观测频率的增加, 这些脉冲的强度迅速下降, 高频可能无法观测到. 和发射典型巨脉冲的脉冲星相比, PSR J0034-0721 在光速圆柱附近磁场小,  $B_{\text{lc}}=7 \text{ Gs}$ , KE04 指出这些巨脉冲的发射位置和其它脉冲星巨脉冲发射位置可能不同, 应该属于两类不同类型的巨脉冲. 对该源的强脉冲在较高频段的观测确认是非常必要的.

本文报告了利用乌鲁木齐天文站 25 m 射电望远镜在 1.54 GHz 频段对 PSR J0034-0721 的单个脉冲观测研究结果. 本文第 2 节重点介绍了观测过程, 第 3 和第 4 节分别介绍了资料处理过程和给出了观测结果, 第 5 节对观测结果作了讨论, 在第 6 节总结了本文的研究工作.

## 2 观测

2007 年 8 月 6 日, 使用中国科学院国家天文台乌鲁木齐天文站南山基地的 25 m 射电望远镜, 对 PSR J0034-0721 在 1.54 GHz 频段进行观测, 取得 1 h 未经过消色散处理的原始观测资料.

南山基地的 25 m 射电望远镜是修正卡塞格林系统. 本观测使用的接收机是中心频率 1.54 GHz 的双极化制冷接收机, 用线极化观测模式. 来自脉冲星的射电信号被 25 m 天线收集, 在卡焦处由馈源送入制冷接收机, 双路信号经过放大、滤波和混频后(混频频率 1.38 GHz), 中频信号通过电缆送入观测室内的脉冲星消色散终端.

本观测使用的脉冲星观测终端是具有 256 通道的消色散系统<sup>[20]</sup>. 前端接收机送来的两路线极化信号进入消色散系统后, 每路的 320 MHz 带宽的信号被分成 128 个频率通道, 每通道带宽 2.5 MHz. 本观测的采样间隔为 0.5 ms, 消色散系统对每个频率通道的信号作 1 位量化. 两路极化共 256 通道的数据经量化存储在观测计算机硬盘内用于后续处理.

本观测探测 PSR J0034-0721 中  $R_{\text{SN}} \geq 5$  的单个脉冲信号. 单个脉冲观测和脉冲星 AP 的观测不同, 后者可通过对上千个单脉冲的累积, 提高观测灵敏度, 相当于有效地延长积分时间. 由于脉冲星脉冲很窄, 所以单个脉冲观测需要使用很短的积分时间, 以提高

时间分辨率, 但观测灵敏度降低. 观测灵敏度可由下式计算

$$S_{\min} = \frac{2R_{\text{SN}}\beta k(T_{\text{rec}} + T_{\text{sky}})}{\eta A \sqrt{n_p} \tau \Delta f}, \quad (1)$$

其中  $R_{\text{SN}}=5$  是探测的最低信噪比;  $\beta = \sqrt{\pi/2}$  是 1 位量化损失因子;  $k$  是玻尔兹曼常数;  $T_{\text{rec}}$  和  $T_{\text{sky}}$  分别是接收机噪声和天空背景温度,  $T_{\text{rec}}+T_{\text{sky}}=27$  K;  $n_p=2$  是极化数;  $\tau=0.5$  ms 是采样间隔;  $\Delta f=320$  MHz 是观测带宽;  $\eta \sim 56\%$  是 1.54 GHz 频段的天线效率;  $A=490.87$  m<sup>2</sup> 是天线面积. 通过上式计算可知, 观测到的对  $R_{\text{SN}}=5$  的单个脉冲的流量约为 2.9 Jy.

### 3 资料处理和强单个脉冲探测

受到星际介质自由电子色散效应的影响, 脉冲星观测数据各频率通道间存在由色散量 DM 决定的色散延迟. 要探测到脉冲星的单个脉冲信号, 首先要对观测数据作消色散处理, 对各频率通道数据间的色散延迟进行改正. 但近地面短时标无线电干扰也具有脉冲特征, 所以数据处理中区分来自脉冲星的单脉冲信号和短时标无线电干扰成为关键.

PSR J0034-0721 的 DM 为 11.38 pc·cm<sup>-3</sup>, 其值决定于望远镜到脉冲星之间星际空间的自由电子密度. 相对脉冲星来说, 无线电干扰发射源离观测望远镜是非常近的, 其 DM 为 0. 脉冲星色散量和无线电干扰色散量的不同, 提供了一个区别无线电干扰和单个脉冲信号的有效途径.

对观测资料从 DM=0 pc·cm<sup>-3</sup> 到 45.52 pc·cm<sup>-3</sup> 以步长为 1.138 pc·cm<sup>-3</sup> 作一系列消色散处理, 得到 40 个消色散的数据流, 无线电干扰的脉冲能量集中在 DM 为 0 的数据流中, 其  $R_{\text{SN}}$  最高. 随着 DM 的逐渐增大, 数据流中干扰信号能量不断弥散,  $R_{\text{SN}}$  逐渐减小. 而脉冲星脉冲能量在 DM=11.38 pc·cm<sup>-3</sup> 的数据流中最为集中, 脉冲信号的  $R_{\text{SN}}$  最高, 随着 DM 从这个值逐渐增大或减小, 脉冲能量均逐渐弥散, 信号的  $R_{\text{SN}}$  也不断减小. 由于 PSR J0034-0721 的 DM 相对较小, 对其 DM 作消色散的数据流中, 虽然干扰脉冲信号能量已经有所弥散, 但依然可见干扰脉冲信号, 通过仔细分析信号随 DM 的变化, 可鉴别来自脉冲星的单个脉冲信号. 得到这些脉冲后, 通过作单脉冲到达时间分析, 可对来自这颗脉冲星的单个脉冲作进一步的确认.

为比较单个脉冲与该脉冲星辐射窗口的相位关系, 对消色散后的 1 h 观测数据流, 按照观测时该脉冲星的视周期进行折叠, 得到 AP.

### 4 结果

从 1 h 的观测数据中, 总共探测到 PSR J0034-0721 的 116 个  $R_{\text{SN}} \geq 5$  的单个脉冲, 其中最强脉冲  $R_{\text{SN}}$  达到 10.5. 图 1 展示了探测到的一个强单个脉冲在该脉冲星 AP (虚线) 表征的辐射窗口内的相位. 从图中看出, 这个强脉冲出现在 AP 的峰值位置, 表明该脉冲辐射来自视线扫过的辐射区部分的中心位置. 与 AP 的宽度相比, 这个强脉冲窄.

观测时 PSR J0034-0721 的视周期为 0.942 88 s, 1 h 的观测总共累加 3 818 个周期得

到 AP. AP 的  $R_{\text{SN}}=22.4$ ,  $W_{50}=36$  ms. 本次观测探测到的  $R_{\text{SN}}=5$  的脉冲的峰值强度约是 AP 峰值强度的 14 倍, 探测到最强的单个脉冲  $R_{\text{SN}}=10.5$ , 约是 AP 峰值强度的 29 倍. 脉冲星的普通单个脉冲的强度一般不超过其 AP 峰值强度的 10 倍, 超过 10 倍的可能是不同于普通单个脉冲的强脉冲. 本观测探测到的 116 个单个脉冲峰值强度是 AP 峰值强度的 14~29 倍, 应该是有别于该星普通单个脉冲的强单个脉冲信号. 由于观测灵敏度的原因, PSR J0034-0721 的普通单个脉冲被噪声起伏淹没, 25 m 射电望远镜无法直接探测到. KE04 在 40 MHz 对该星探测到超过 AP 峰值强度 100~400 倍的强单个脉冲, 在 111 MHz 探测到超过 AP 峰值强度 30~120 倍的强单个脉冲, 表明这些脉冲强度随着频率的升高而下降.

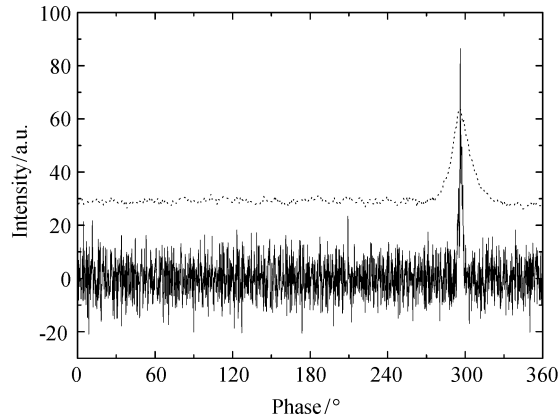


图 1 探测到的 PSR J0034-0721 的强单个脉冲 (实线). 该脉冲发射相位与 AP (虚线) 峰值相位一致

Fig. 1 A strong detected single pulse (solid line) is compared with the average pulse (AP) (dashed line) of PSR J0034-0721. This pulse is localized at the phase of the AP peak

图 2 中给出了探测到的 116 个单个脉冲  $R_{\text{SN}}$  - 相位分布 (图 (a)), 以及本次观测按周期折叠得到的 AP (图 (b)). 图中虚线指示了 AP 的峰值位置相位.

从图 2 中可以看出, PSR J0034-0721 绝大多数强单个脉冲集中于 AP 的峰值相位附近的区域内. 探测到两个强单个脉冲出现在 AP 前边沿的相位处,  $R_{\text{SN}}$  大于 8.5, 表明辐射强单个脉冲的区域可能有两个, 符合 KE04 通过两个低频频段观测的结果. KE04 在 40 MHz 频段测得两个发射区间距约为 100 ms, 在 111 MHz 约为 55 ms. 在 1.54 GHz 频段, 本研究测得两个区间距约为 33 ms. 不同于 40 MHz 的 AP, 在 1.54 GHz 观测的 AP 只显示出一个成份. 本观测 AP 前沿相位处强脉冲探测率比 AP 峰值附近区域低很多, 两者比值小于 0.02.

在某个强度以上探测到的单个脉冲总数  $N_{\text{sp}}$  与观测中总脉冲数 (或总周期数)  $N_{\text{pall}}$  之比, 反映了观测中该强度以上的单个脉冲的探测率. 按照周期, 1 h 观测的  $N_{\text{pall}}=3818$ . 在图 3 中给出了不同强度 ( $R_{\text{SN}}$ ) 的强单个脉冲的探测率分布. 本观测强脉冲探测率约为 3%, 其中探测到  $R_{\text{SN}}>10$  的单个脉冲有 3 个, 探测率约为 0.08%. KE04 在 40 MHz 探测强于 AP 峰值 100 倍的强脉冲探测率约为 1%, 在 111 MHz 探测强于 AP 峰值 30 倍的强

脉冲探测率约为 2%.

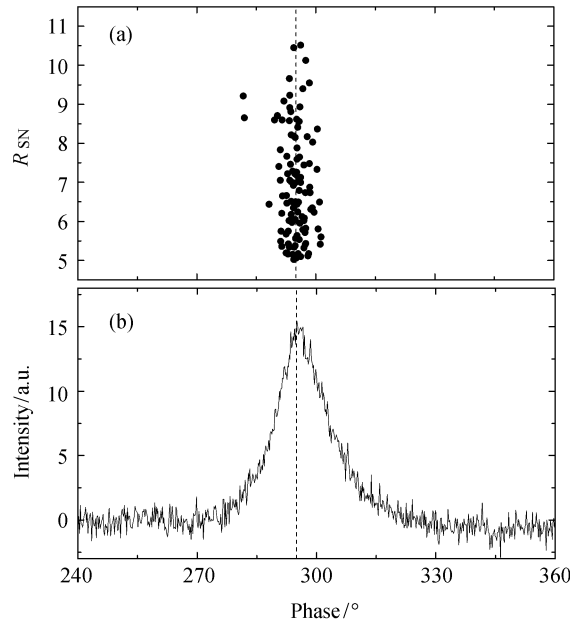


图 2 探测到的 116 个单个脉冲  $R_{SN}$  - 相位图 (a) 以及 AP (b). 虚线指示 AP 的峰值相位

Fig. 2 The  $R_{SN}$ -phase diagram of 116 detected single pulses (a) and the AP (b). The dashed lines indicate the phase of the peak of AP

图 3 中的单个脉冲强度累积分布大致符合幂律分布, 图中给出了最佳拟合结果, 谱指数  $\alpha = -4.3 \pm 0.4$ . 由于观测到的强脉冲数并不多, 这个拟合给出的结果较为粗略. KE04 对 40 MHz 和 111 MHz 的结果拟合分别得到  $\alpha$  为 -4.5 和 -4.8, 和本文得到的结果是符合的.

本观测得到的单个脉冲都很窄, 测量得到这些脉冲的  $W_{50}$  从 1.6 ms 到 8 ms, 平均约为 3.9 ms. KE04 通过低频观测给出  $W_{50}$  平均约为 6 ms, 本观测在高频上测得的结果比他们的结果窄, 这符合频率 - 宽度演化关系. 图 4 是这 116 个单个脉冲观测得到的  $W_{50}$  分布. 由于星际介质传输效应以及采样时间等因素, 观测到的脉冲有致宽现象.

脉冲星发射的脉冲宽度  $W_i$  与观测到的脉冲宽度  $W$  有如下关系:

$$W = (W_i^2 + t_{\text{samp}}^2 + \Delta t_{\text{DM, ch}}^2 + \Delta t_{\text{scatt}}^2)^{1/2}, \quad (2)$$

其中,  $t_{\text{samp}}$  是观测的采样间隔,  $\Delta t_{\text{DM, ch}}$  是由于消色散设备每个频率通道有一定带宽造成的剩余色散延迟对轮廓致宽的贡献,  $\Delta t_{\text{scatt}}$  是由于星际介质散射效应对轮廓致宽的贡献. 后两项可分别表述如下:

$$\Delta t_{\text{DM, ch}} = (8.3 \mu\text{s}) \text{DM} \Delta f_{\text{MHz}} f_{\text{GHz}}^{-3}, \quad (3)$$

式中 DM 为  $11.38 \text{ pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ ;  $\Delta f_{\text{MHz}}$  是以 MHz 为单位的消色散系统的子频率通道带宽,

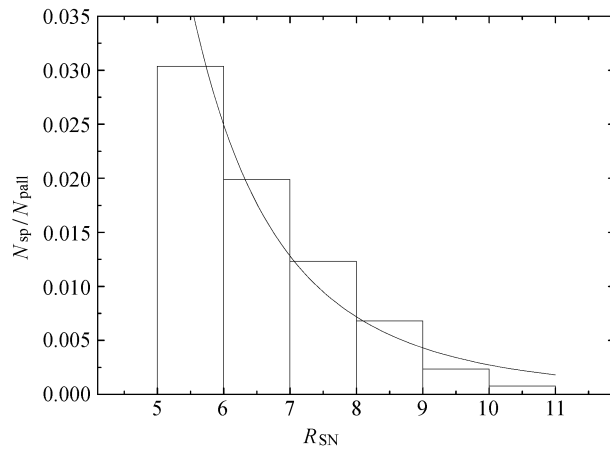


图 3 单个脉冲强度累积分布. 纵轴是探测到某强度以上强脉冲总数与观测期间总周期数之比. 实线给出最佳幂律谱拟合结果, 谱指数  $\alpha = -4.3 \pm 0.4$

Fig. 3 The cumulative distribution of the  $R_{SN}$  of the single pulses. The histogram has roughly a power-law distribution with a slope of  $\alpha = -4.3 \pm 0.4$

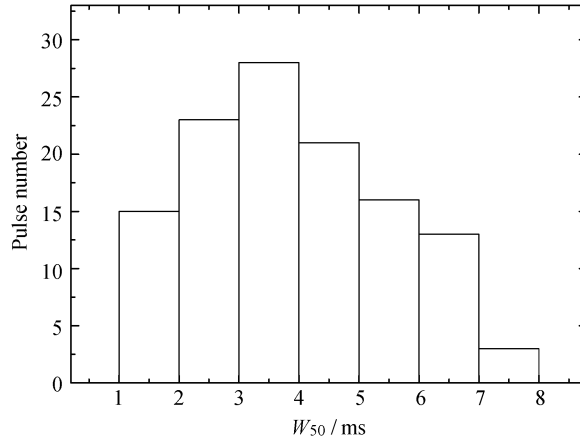


图 4 116 个单个脉冲的半峰线宽  $W_{50}$  分布 (未进行致宽修正)

Fig. 4 The distribution of half peak line breadth  $W_{50}$  of 116 single pulses ( $W_{50}$  is not corrected after broadening effect)

$f_{\text{GHz}}$  是以 GHz 为单位的子通道中心频率, 得到的残差时延以  $\mu\text{s}$  为单位.

$$\Delta t_{\text{scatt}} = \left(\frac{\text{DM}}{1000}\right)^{3.5} \left(\frac{400}{f_{\text{MHz}}}\right)^4 (\text{s}), \quad (4)$$

其中  $f_{\text{MHz}}$  是以 MHz 为单位的观测的中心频率, 得到的  $\Delta t_{\text{scatt}}$  的单位是 s. 本观测的采样时间  $t_{\text{samp}}=0.5 \text{ ms}$ . 由于 DM 小,  $\Delta t_{\text{DM, ch}}$  和  $\Delta t_{\text{scatt}}$  很小, 影响可忽略. 由 (2)~(4) 式计算可知本观测的脉冲轮廓致宽约 0.5 ms.

## 5 讨论

PSR J0034-0721 在 1.54 GHz 频段的单个脉冲宽度窄, 约是平均脉冲轮廓的 1/10, 峰值强度达到 AP 峰值强度的 14~29 倍, 根据灵敏度公式估计最强的单脉冲峰值流量接近 6 Jy, 这些脉冲可能是不同于普通单个脉冲的强脉冲. KE04 对 40 MHz 和 111 MHz 的最强单脉冲所估计的峰值流量分别达到 1 100 Jy 和 530 Jy, 结合 1.54 GHz 的结果, 可粗略估计这些强单脉冲的谱指数数大约为 -1.5. 这个值是很不确定的, 一方面因为两个低频频段位于脉冲星频谱翻转的区域, 另一方面给出的最强脉冲的强度并不是同时观测获得的, 脉冲间的差异会带来很大的误差. 需要多频同时观测以确定这些强单个脉冲的频谱.

星际介质的强散射引起的星际闪烁会产生脉冲信号强度的起伏, 其中衍射式闪烁时标短, 为分钟级<sup>[21]</sup>, 折射式闪烁时标较长, 时标从小时到天<sup>[22]</sup>. 对于 PSR J0034-0721 在 3 个频段观测到的单个脉冲在该星周期时标内如此强的起伏不能完全用星际闪烁解释.

典型的巨脉冲现象是宽频带的现象, 其强度一般是其平均脉冲强度的上千倍<sup>[23]</sup>. KE04 在 40 MHz 和 111 MHz 分别探测到强度达到平均脉冲强度 400 倍和 120 倍的强单个脉冲, 认为 PSR J0034-0721 的这些强单个脉冲具有巨脉冲的特点. 在 1.54 GHz 的观测探测到最强的单脉冲强度是平均脉冲强度的 29 倍, 强度远低于典型巨脉冲, 可能预示着这些强脉冲与典型巨脉冲是有区别的.

具有典型巨脉冲发射的射电脉冲星, 如年轻脉冲星 Crab 和毫秒脉冲星 PSR B1937+21,  $B_{\text{lc}}$  都很强, 这被认为是产生巨脉冲发射的重要条件<sup>[18]</sup>. Knight 等<sup>[13]</sup> 认为大的自转能损耗率  $\dot{E}$  可能是产生巨脉冲所必需的. 图 5 给出了 ATNF (Australia Telescope National Facilities) 星表脉冲星的  $\dot{E}$ - $B_{\text{lc}}$  分布. 图中五角星是 7 颗发射典型巨脉冲的脉冲星, 除 2 颗外, 都探测到 X 射线辐射. 这 7 颗星的  $B_{\text{lc}}$  都大于  $10^5 \text{ Gs}$ , 其中 5 颗属于毫秒脉冲星, 这些星分别是正常脉冲星组和毫秒脉冲星组中  $\dot{E}$  最大的. 但与上述 7 颗脉冲星相比, PSR J0034-0721 的  $B_{\text{lc}}$  小很多. 除了 PSR J0034-0721 外, 目前认为有巨脉冲的 11 颗脉冲星中, 还有 PSRs B0656+14、J1752+2359 和 J1115+5030 也具有较小的  $B_{\text{lc}}$ , 这 3 颗星也只是通过 111 MHz 频段的观测认为有巨脉冲的存在. 这 4 颗  $B_{\text{lc}}$  小的脉冲星在图 5 中用三角形示出. 其中 PSR B0656+14 的  $B_{\text{lc}}=770 \text{ Gs}$ , 是这 4 颗星中  $B_{\text{lc}}$  最大的, 也是其中唯一探测到 X 射线辐射的源. 图 5 中还用圆圈标出了目前已测定周期和周期导数的 3 颗 RRATs<sup>[2]</sup>. RRATs 稀疏的单脉冲都很强, 而且较窄, 观测没有探测到平均脉冲轮廓, 如果该源有普通脉冲发射, 这些强脉冲比普通脉冲强几千倍甚至更高<sup>[2]</sup>.

Kuzmin 等<sup>[9]</sup> 认为 PSR J0034-0721 在内的这 4 颗星的巨脉冲和它们的普通脉冲辐

射区一致,都源自在磁极区的内间隙区,而不在光速圆柱附近的外间隙区,这些强脉冲应该是属于不同类型的巨脉冲. Weltevrede 等<sup>[4]</sup>发现了 PSR B0656+14 发射的不同于其巨脉冲的非常强且极其稀疏的超强射电单脉冲爆发,指出若该星距离足够远,观测性质可能和 RRATs 一样. 在图 5 中 PSR J0034-0721、J1752+2359 和 J1115+5030 的分布与 3 颗 RRATs 比较接近,它们的强脉冲发射是否具有共性需要进一步的多频观测来确认. 目前对已知脉冲星中的超强单脉冲的搜寻是很不充分的,由于发射率很低,所以很难被较短时间的观测所发现. 对已知脉冲星的超强单个脉冲的搜索对认识这类稀有事件的发射机制是很有必要的.

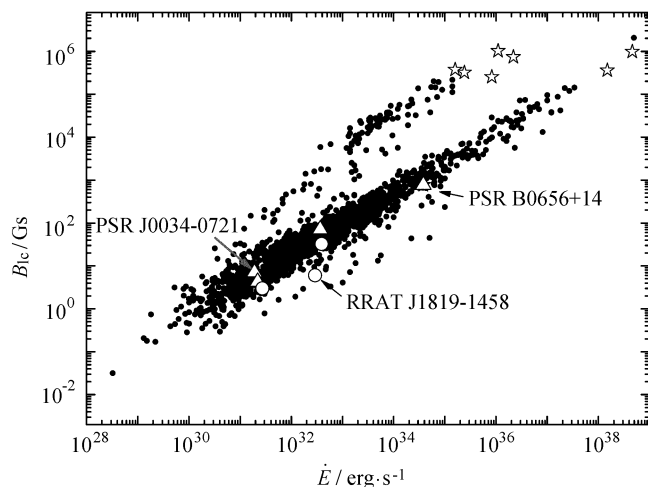


图 5 脉冲星的  $\dot{E}$ - $B_{1c}$  分布 (取自 ATNF 星表). 五角星、三角形和圆圈分别表示具有典型巨脉冲发射的脉冲星、 $B_{1c}$  小的巨脉冲发射脉冲星和 3 颗 RRATs

Fig. 5  $\dot{E}$  versus  $B_{1c}$  diagram of known pulsars (from ATNF database). Pentacles, triangles and circles indicate the classical giant-pulse (GP) pulsars, GP pulsars with small  $B_{1c}$  and three RRATs, respectively

## 6 总结

利用南山基地 25 m 射电望远镜在 1.54 GHz 频段观测了 PSR J0034-0721 的强单个脉冲. 这是继 40 MHz 和 111 MHz 频段对该星强单个脉冲的观测后,首次在较高射电频段的观测. 使用单个脉冲探测技术,在 1 h 观测数据中,探测到 116 个  $R_{SN} \geq 5$  的单个脉冲信号.

在 1.54 GHz 频段探测到的单个脉冲的峰值强度约是平均脉冲峰值强度的 14~29 倍, KE04 在 40 MHz 和 111 MHz 探测到的这个值分别为 100~400 和 50~120 倍,可以看出这些强单个脉冲与平均脉冲的强度比随着频率的升高而减小. 本次观测探测到的最强单个脉冲  $R_{SN}=10.5$ , 该脉冲峰值流量接近 6 Jy, 这些脉冲的强度累积分布符合幂律谱,拟合得到谱指数  $\alpha=-4.3 \pm 0.4$ . 本观测对  $R_{SN} \geq 5$  的单个脉冲探测率为 3%, 对  $R_{SN} \geq 10$  的单

个脉冲探测率约为 0.08%。从这些脉冲相对于平均脉冲强度的比值随着射电频率的升高而快速下降来看, 它们应该是不同于该星普通单脉冲的强单个脉冲。本次观测探测到的  $W_{50}$  在 1.6~8 ms 内, 平均为 3.9 ms, 约为其 AP  $W_{50}$  的 1/10。3 个频段的结果显示单个脉冲宽度随观测频率的降低有所增加, 符合脉冲宽度随频率的演化关系。

PSR J0034-0721 绝大多数强单个脉冲发射相位集中分布在平均脉冲轮廓的峰值相位处, 在提前该相位 33 ms 附近也探测到 2 个  $R_{SN} > 8.5$  的强单脉冲, 可能表明这个脉冲星强脉冲发射区有两个, 在 1.54 GHz 频段两区相位相差约 33 ms。本观测在平均脉冲轮廓前沿相位处的强脉冲探测率比 AP 峰值附近区域低很多, 两者比值小于 0.02。虽然 KE04 指出 40 MHz 观测显示该脉冲星平均脉冲轮廓具有两个成份, 相位相差约 100 ms, 并且在两个成份相位处都探测到单个脉冲, 但 1.54 GHz 频段的平均脉冲轮廓只显示了一个成份。

3 个频段的观测结果显示 PSR J0034-0721 的强单个脉冲发射区应该位于其普通脉冲的发射区内, 可能源自脉冲星磁极区的内间隙区。这与一般认为的脉冲星巨脉冲源自光速圆柱附近的外间隙区是有区别的。相对于有典型巨脉冲发射的脉冲星, 这颗星的  $B_{lc}$  小, 虽然脉冲的观测特征在低频段有类似之处, 但这些强脉冲可能属于不同于巨脉冲的类型。该星的强脉冲与 RRATs 发射的强脉冲是否具有共性, 需要作进一步的多频观测来确认。

**致谢** 感谢南山基地工程技术人员对本观测的协助。

### 参 考 文 献

- [1] Hankins T H, Kern J S, Weatherall J C, et al. *Natur*, 2003, 422: 141
- [2] McLaughlin M A, Lyne A G, Lorimer D R, et al. *Natur*, 2006, 439: 817
- [3] Esamdin A, Zhao C S, Yan Y, et al. *MNRAS*, 2008, 389: 1399
- [4] Weltevrede P, Stappers B W, Rankin J M, et al. *ApJ*, 2006, 645: 149
- [5] Staelin D H, Sutton J M. *Natur*, 1970, 226: 69
- [6] Joshi B C, Kramer M, Lyne A G, et al. *IAUS*, 2004, 218: 319
- [7] Kostyuk S V, Kondratiev V I, Kuzmin A D, et al. *AstL*, 2003, 29: 387
- [8] Johnston S, Romani R W. *ApJ*, 2003, 590: L95
- [9] Kuzmin A D, Ershov A A. *AstL*, 2006, 32: 583
- [10] Romani R W, Johnston S. *ApJ*, 2001, 557: L93
- [11] Backer D C. *JApA*, 1995, 16: 165
- [12] Cognard I, Shrauner J A, Taylor J H, et al. *ApJ*, 1996, 457: L81
- [13] Knight H S, Bailes M, Manchester R N, et al. *ApJ*, 2005, 625: 951
- [14] Kuzmin A D, Ershov A A. *A&A*, 2004, 427: 575 (KE04)
- [15] Ershov A A, Kuzmin A D. *AstL*, 2003, 29: 91
- [16] Ershov A A, Kuzmin A D. *A&A*, 2005, 443: 593
- [17] Soglasnov V A, Popov M V, Bartel N, et al. *ApJ*, 2004, 616: 439
- [18] Lyutikov M. *MNRAS*, 2007, 381: 1190
- [19] Kuzmin A D, Ershov A A, Losovsky B Y. *AstL*, 2004, 30: 247
- [20] Wang N, Manchester R N, Zhang J, et al. *MNRAS*, 2001, 328: 855
- [21] Bhat N D R, Gupta Y, Rao A P. *ApJ*, 1999, 514: 249
- [22] Stinebring D R, Smirnova T V, Hankins T H, et al. *ApJ*, 2000, 539: 300

[23] Cordes J M, Bhat N D R, Hankins T H, et al. ApJ, 2004, 612: 375

## An Observational Study of the Strong Single Pulses of PSR J0034-0721

NIZAMDIN Buhalqem<sup>1,2</sup> ESAMDIN Ali<sup>3,2</sup> LIU Zhi-yong<sup>4</sup>

WANG Na<sup>3,2</sup> ZHAO Cheng-shi<sup>4</sup>

(1 Department of Physics, Xinjiang University, Urumqi 830046)

(2 Xinjiang University-National Astronomical Observatories Joint Astrophysics Center, Urumqi 830046)

(3 National Astronomical Observatories/Urumqi Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

(4 National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600)

**ABSTRACT** Using the Urumqi 25 m radio telescope on Aug. 6th 2007, the analysis results of strong single pulses of PSR J0034-0721 observed at 1.54 GHz are reported. 1-hr data is collected. Using the single-pulse searching method, 116 strong pulses of PSR J0034-0721 with signal-to-noise ratios ( $R_{\text{SN}}$ ) above  $5\sigma$  threshold are detected. The  $R_{\text{SN}}$  values of the detected pulses are from 5 to 10.5 and the peak fluxes of these pulses are approximately 14 to 29 times that of the average pulse (AP). However, these values are much less than those of the classical giant pulses. The cumulative distribution of the  $R_{\text{SN}}$  of these pulses has roughly a power-law distribution with a slope of  $-4.3 \pm 0.4$ . The detectivity of the pulses with  $R_{\text{SN}} \geq 5$  and  $R_{\text{SN}} \geq 10$  are 3% and 0.08%, respectively. The half peak line breadths  $W_{50}$  of these pulses range from 1.6 ms to 8 ms, with an average value of 3.9 ms. Most of the pulses cluster in the narrow region centering at the peak of the AP. However, two strong pulses with  $R_{\text{SN}} > 8.5$  are detected at the phase about 33 ms earlier than the phase of the AP peak. This may indicate that there are two strong-pulse emitting regions.

**Key words** stars: neutron, pulsars: individual