

我国脉冲星观测研究的进展和前景

吴鑫基^{1,2} 张晋³ 王娜^{1,2,3}

(1 中国科学院—北京大学联合北京天体物理中心 北京 100871)

(2 北京大学地球物理系 北京 100871)

(3 中国科学院乌鲁木齐天文站 乌鲁木齐 830011)

摘 要

介绍了脉冲星观测研究的意义,国际上所取得的重大成就和脉冲星观测最主要的技术问题。分析了我国脉冲星观测研究的现状和潜力、存在的问题和美好的前景。对正在执行的由中、澳、英合作的“利用乌鲁木齐25m射电望远镜在18cm波段上进行脉冲星脉冲到达时间的观测研究”项目,就其课题意义、接收系统的技术改造和观测灵敏度等进行了介绍。展望了FAST望远镜观测脉冲星的前景。

关键词 脉冲星—观测—脉冲到达时间—射电望远镜

分类号: P145.6

1 引 言

脉冲星是20世纪60年代天文学的四大发现之一。脉冲星的发现证实了中子星的存在。科学家奋斗了半个多世纪的关于引力波的监测终于在脉冲星的观测研究中首次获得间接的证据。脉冲星和脉星双星系统的发现者分别荣获诺贝尔物理学奖^[1~4]。毫秒脉冲星的发现,又使脉冲星的研究增添光彩。它们周期短,但年龄老,磁场低,和在此以前发现的脉冲星的特性完全不同,是新一类脉冲星。它们是由X射线双星演化而来,在球状星团中比较多。毫秒脉冲星的自转周期稳定得足以和原子钟媲美。寻找太阳系之外的行星系统是人们十分关注的一个研究课题,天文学家终于在1992年首先发现了脉冲星的行星系统。脉冲星成为最典型的致密星和理想的致密态物理实验室、非热辐射和引力波的空间实验室、以及星际空间的探测器和“标准钟”。

2 国际上脉冲星观测研究的进展

脉冲星的观测研究主要集中在下面三大方面:

国家攀登项目《天体剧烈活动的多波段观测和研究》 国家自然科学基金(19773001)资助项目

高等学校博士学科点专项科研基金资助项目

1998-07-13 收到

(1) 巡天观测。借以发现更多数量或新类型的脉冲星。现发现的脉冲星已超过 1000 颗。这个数目是 80 年代初已知脉冲星数的 2 倍以上。贡献最大的是澳大利亚 Parkes 的 64m 口径射电望远镜, 占一半以上^[5,6]; Arecibo 的 305m 口径射电望远镜灵敏度最高, 其探测深度可达到银河系的边缘, 有 3 次巡天, 发现的脉冲星约 100 颗^[7,8]; 英国 Jodrell bank 的 76m 口径射电望远镜发现大约 100 颗脉冲星^[9]; Green Bank 的 92m 口径射电望远镜发现近 100 颗脉冲星^[8,10]。Manchester 和 Lyne 教授正在用澳大利亚 Parkes 射电望远镜进行多波束巡天。共有 13 个波束, 使每次观测所覆盖的天区增加 13 倍, 从而有可能增加对每一个天区的观测时间, 以提高巡天的灵敏度^[11]。

(2) 脉冲星辐射的强度和偏振的观测。观测资料非常丰富, 涉及平均脉冲、单个脉冲、漂移脉冲、微脉冲、中间脉冲、零脉冲等, 以及平均脉冲强度的长期变化和脉冲轮廓形状的突然变化等。以偏振观测为例, 90 年代以前, 只有约 100 颗脉冲星有偏振资料^[12]。1994 年发表的资料已超过 400 颗^[13]。南天脉冲星的偏振观测在 1993 年以来陆续获得了三批观测结果^[14~18], 使有偏振资料的南天脉冲星增加了约 2 倍, 这些结果是我国学者和澳、英脉冲星专家合作, 利用澳大利亚射电望远镜的观测成果。

(3) 脉冲到达时间的观测研究。有关脉冲星周期特性的观测都属于脉冲到达时间的观测, 如测量脉冲星周期和它们的变化, 双星和行星系统的轨道参数及其变化, 脉冲星自转突快事件和自转的不均匀性, 制动指数、自行、色散量、距离、年龄、磁场、转动能损率等的测量。脉冲到达时间的观测的最大特点是要求进行长时间的监测以发现时变特性和偶发事件。应用 PSR0833-45 长达 25yr 的观测资料, 算出制动指数值为 1.4^[19]; 目前只观测到 26 颗脉冲星的 65 次自转突快事件, PSR0833-45 的次数最多, 共 8 次^[20,21]; 为了检验引力波的存在, 对射电脉冲双星 PSR1913+16 的轨道周期进行了 20yr 的监测^[4]。

当今脉冲星观测研究的热点是发现和观测毫秒脉冲星、脉冲双星、有 X 射线和 γ 射线脉冲的脉冲星、与超新星遗迹成协的脉冲星、有自转突快现象的脉冲星等。观测对象越来越弱, 距离越来越远, 对射电望远镜的灵敏度的要求也就越来越高。

3 脉冲星观测技术和我们的对策

正如 Manchester 指出^[11], “脉冲星观测的最大困难是脉冲星的信号特别弱, 要求有灵敏度很高的射电望远镜”。目前巡天的重点已是流量密度小于 1mJy 的脉冲星 ($1\text{Jy} = 10^{-26}\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$), 已观测到的脉冲星的流量密度最低已是 $S_{400} = 0.1\text{mJy}$, $S_{1400} = -0.2\text{mJy}$ ^[5]。这里流量密度 S 的下角标是以 MHz 为单位的观测频率。要赶上国际潮流进而和国际接轨, 就必须使我国拥有高灵敏度的望远镜。脉冲星观测系统的灵敏度可由下式计算:

$$S_{\min} = \frac{C(T_{\text{sys}} + T_{\text{sky}})G}{\sqrt{N_p t_{\text{int}} \Delta\nu}} \sqrt{\frac{w}{p-w}} \quad (1)$$

这里 S_{\min} 为最小可检测流量密度, 该值越低则灵敏度越高; C 为观测资料的信噪比; T_{sys} 为系统噪声温度, 决定于接收系统的质量; T_{sky} 是天空背景噪声温度, 由银河系背景在观测波段上的辐射强度决定, 它成为观测灵敏度的最终限制; G 是天线增益, 主要由天线口径和效率决定; N_p 是观测馈源的极化数, $N_p = 1$ 为单极化, $N_p = 2$ 为双极化; $\Delta\nu$ 是接收系统的频带宽度; t_{int} 为观测的时间长度; p 是脉冲星周期; w 是脉冲等效宽度。

现在就提高灵敏度的途径和我们的对策作如下讨论:

(1) 灵敏度和天线的增益成正比, 要求天线口径大而效率高。这就需要建造我国自己的大型射电望远镜, 但其投资巨大, 研制周期长, 只能作为长远目标。

(2) 灵敏度随接收系统的噪声温度降低而提高, 研制低噪声馈源和致冷式前置放大器可以大大地提高灵敏度, 其投资和建造大型天线相比要少得多, 研制周期也短, 挖掘其潜力在目前相对来说比较容易。

(3) 消色散接收是脉冲星观测特有的技术, 灵敏度和频带宽度的 $1/2$ 次方成正比。频带宽度增加 100 倍, 灵敏度就可以增大 10 倍。投资少、收效大, 这是提高我国脉冲星观测能力首先应采取的措施。

由于星际介质色散的影响, 高频的信号传播速度比低频的快。同一个脉冲到达射电望远镜时, 高频和低频成分有时间差, 导致脉冲加宽, 能量分散, 轮廓变形, 灵敏度下降, 甚至会将脉冲信号平滑掉。

为了保证接收到的信号不被展宽太多, 规定接收机的频段宽度有一个上限 B_i ,

$$B_i = \frac{\nu^3}{8.3 \times 10^3 DM} \cdot w \quad (2)$$

式中 DM 为色散量 (单位: $\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$), 是一个观测量; ν 为以 MHz 为单位的观测频率; w 为脉冲轮廓的等值宽度, 以 s 为单位。这个公式的含义是频带宽度两端的时间延迟不能超过平均脉冲的等值宽度 w 。

消色散接收机的原理是将频带较宽的脉冲信号依次分为多个彼此相连的频带小于 B_i 的频率通道。将各个通道接收到的信号进行延迟改正后再叠加, 就得到我们需要的脉冲轮廓。这种方法既保证脉冲轮廓展宽不多, 又增加了总带宽, 提高了灵敏度。这种方法最早由 Large 和 Vaughan 采用^[22]。目前主要通过使用滤波式消色散接收机实现, 其优点是性能可靠, 价格低廉, 广泛适用于一般性的到达时间观测。一种消色散的数学方法已被提出^[23], 该方法可以增强滤波式消色散接收机的能力, 也可以对已有的观测结果中那些因色散影响而展宽的脉冲星平均脉冲轮廓进行消色散处理以恢复其原来的面貌。

(4) 灵敏度和积分时间常数有关, 射电天文观测总是希望积分时间长一些。但是对脉冲星观测来说, 积分时间常数必须比周期值短很多, 否则脉冲信号将会变形甚至被平滑掉。为了要把脉冲轮廓正确地展现出来, 一个脉冲周期中要取 256 个数据左右。射电脉冲星的周期范围是 $1.6\text{ms} \sim 5\text{s}$ 。可见, 采样时间非常短, 一般为 1ms , 对毫秒脉冲星则要求短到 $0.1 \sim 0.01\text{ms}$ 。这导致脉冲星观测的灵敏度大大下降。

然而脉冲星有一个重要的特性可以利用。当我们把由成千上万个周期的脉冲系列按周期折叠后相加, 会形成一个形状稳定的脉冲轮廓, 即平均脉冲。长期不变, 允许用多次观测的资料叠加。折叠后相加的过程, 就是信号不断的积累过程, 相当于增加积分时间。这一信号累积的方法对我国当前的脉冲星观测研究特别重要。我国射电望远镜的口径均较小, 但是可以通过增加观测时间来部分弥补这一缺陷。

(5) 频率和观测课题的选择与灵敏度的关系。在低频段, 银河背景射电辐射和散射效应都非常强, 在银道面特别是银心方向更加厉害, 往往超过弱脉冲星的流量密度。但是银河系背景辐射和散射效应也是幂律谱, 谱指数比脉冲星更陡。在低频段流量密度低于银河系背景的脉冲星, 在高频段的流量密度就可能高于银河系背景。

不同课题所需要的信噪比差别很大, 如脉冲到达时间的观测要求信噪比 $S/N = 5 \sim 10$, 强度观测则要求 $S/N = 20 \sim 50$, 而偏振观测因为大多数脉冲星的圆偏振度只有 5% 左右则要求 S/N 达 100 以上。

我国的射电望远镜在 232MHz、327MHz 和 1500MHz 等频段上均有观测脉冲星的能力, 应该优先发挥它们的作用。低频段侧重强度的观测, 高频段侧重脉冲到达时间的观测。

4 我国脉冲星观测现状和潜力

(1) 观测研究现状

我国脉冲星观测研究起步于 1988 年, 先后有 6 位学者赴澳大利亚, 利用其 64m 射电望远镜进行脉冲星观测研究或进行脉冲星接收设备的研制, 水平很高。但是, 国内既没有大型射电望远镜, 又没有脉冲星特有的接收系统, 条件就差多了, 只能从低水平起步。1990 年由王绶琯院士和吴鑫基教授策划, 开始了中国科学院北京天文台和北京大学的合作, 由吴鑫基和金声震共同负责组成课题组, 研制了我国第一台观测脉冲星的单通道接收系统^[24], 随后, 利用北京天文台的直径 15m 射电望远镜在 232MHz 上进行脉冲星观测的实验, 在 1991 年取得成功, 获得 PSR0950+08 和 PSR1133+16 两颗脉冲星的平均脉冲轮廓^[25]。由于望远镜口径小, 环境电波噪声强, 不适合从事正式的观测研究。

1996 年由北京大学、中国科学院北京天文台和中国科学院乌鲁木齐天文站合作, 利用乌鲁木齐 25m 射电望远镜在 327MHz 频率上进行观测, 取得了成功。发表了 PSR0329+54、PSR0950+08、PSR1133+16 和 PSR1919+21 的平均脉冲资料^[26]。其中 PSR0329+54 的平均脉冲信噪比很高, PSR0950+08 则显示出双峰形状, 而 400 MHz 以上的轮廓是单峰。PSR1133+16 曾被认为可能有模式变化^[27,28]。但没有人给出模式变化的观测结果, 乌鲁木齐的这次观测, 记录到两种形状的平均脉冲轮廓, 可能就是一次模式变化。1999 年初, 利用 25m 射电望远镜 92cm、18cm、13cm、3.6cm 波段的接收系统, 对脉冲星 PSR0329+54 进行多波段观测实验取得成功。

(2) 脉冲星观测潜在能力的分析

我国目前有上海天文台和乌鲁木齐天文站的两台直径为 25m 的射电望远镜。天线效率和运转情况都很好。接收设备的波段比较齐全, 有 92cm、18cm、13cm、6cm、3.6cm、2.5cm 和 1.3cm 多个波段。在短波段, 如 1.3cm、3.6cm、6cm 已逐步改造为致冷式前置放大器, 系统噪声温度降低很多。

脉冲星的辐射是幂律谱, 在 92cm 波段, 脉冲星流量密度强, 适合于我们这样的中型射电望远镜观测。但银河系背景辐射也相当强, 限制了观测弱脉冲星的能力。脉冲星的平均谱指数为 -1.5 , 18cm 波段上的流量密度比 92cm 约减少为 $1/11$ 。但这个波段上的银河系背景辐射却很低, 有可能对比较弱的脉冲星进行观测。在更短的波段上, 脉冲星的流量密度特别弱, 只能对少数强脉冲星进行观测。所以 92 和 18cm 波段是两个可利用来观测脉冲星的波段, 是有潜力可挖的。

脉冲星的观测对电波环境的要求特别高, 乌鲁木齐南山站的电波干扰很小, 比较适合脉冲星的观测研究。

北京天文台于 1991 年开始对综合孔径望远镜进行增加相加模式的技术改造^[29]。28 面

天线接收到的辐射同相位相加,相当于一面直径为47m的单天线射电望远镜。比澳大利亚 Parkes 64m 接收面积的1/2稍大。在232和327MHz上具有较强的观测脉冲星的能力,至少可以得到几十颗较强脉冲星的脉冲轮廓、强度的时变特性、低频端的频谱特性等观测结果。在配置多频率通道的消色散接收系统以后,还可以使能观测的脉冲星数目成倍增加。不久可进入实验阶段。然而在低频波段银河系背景的辐射很强,加之密云综合孔径望远镜的总频带宽度只有2MHz,提高灵敏度受到限制。

脉冲星时间特性和辐射特性变化的观测研究可以提供十分丰富的信息,是非常重要的观测课题。此项研究要求对脉冲星进行长时间的监测,可以说,监测的时间越长越好,观测的时间间隔越短越好。这对大型射电望远镜来说,是不可能做到的。我国现有的射电望远镜可以从事这样的观测。

脉冲星辐射谱特性的观测研究,要求观测的频段越宽越好,频段间隔越密越好。国际上射电脉冲星观测的频段主要集中在400MHz到1600MHz频率范围。德国 Effelsberg 的100m射电望远镜在厘米波和毫米波段进行观测研究^[30,31],俄罗斯的射电望远镜和印度的射电望远镜则分别在100MHz和34.5MHz的甚低频波段上进行观测^[32,33]。我国具有在232和327MHz上观测脉冲星的能力,恰好是人们观测较少的频段,而且还处在某些脉冲星频谱低端反转点的附近,这两个频段上的观测就具有特殊的重要性。

(3) “脉冲到达时间观测”国际合作项目

1996年乌鲁木齐25m射电望远镜观测脉冲星成功以后,我们就着手考虑如何使我国的脉冲星观测和国际接轨的问题。1997年形成了由乌鲁木齐天文站(张晋)、北京大学(吴鑫基)、香港大学物理系(郑广生)、澳大利亚国立射电天文台(Manchester)和英国 Jodrell Bank 射电天文台(Lyne)参加的国际合作项目:“利用乌鲁木齐25m射电望远镜,在18cm波段进行脉冲星脉冲到达时间观测研究”。

选择18cm的原因是因为不仅要观测比较弱的脉冲星,而且还要和澳、英最新的巡天结合起来。高频段银河系背景辐射和散射效应都比较小,在18cm波段上,银河系背景噪声温度仅为5~10K,而在92cm波段上则高达300K。在92cm上,脉冲星的流量虽比18cm波段的流量大很多,但银河系背景辐射限制了对比较弱的脉冲星的观测。

选择脉冲到达时间的观测课题的理由是:(a)与其有关的研究课题广泛、意义重大,其中有:发现脉冲星自转突快和测量自转的不均匀性^[20];发现脉冲星双星和测定其轨道参数;测量脉冲星周期的长期变化,确定制动指数和脉冲星的自行;测量其它重要参数;进行脉冲星标准时间的试验等。Manchester教授指出,“就科学意义来说,这个项目可做的课题是很丰富的。如脉冲星周期突变和不规则变化的观测研究和周期长期变化以及脉冲双星的发现等”^[34]。(b)这一观测研究要求比较经常的监测,这是大型射电望远镜所做不到的。Manchester教授说:“正在执行的 Parkes 多波束巡天将至少可以发现600颗脉冲星,其中有很多是富有周期突变和不规则变化的年青脉冲星。这要求坚持经常性的观测,这对 Parkes 射电望远镜来说是困难的,也可以说是不可能的”^[35]。合作协议中明确:“将提供在 Parkes 和 Jodrell Bank 多波束巡天中发现的脉冲星的参数”。这为经常性的监测提供了有利条件。(c)脉冲到达时间的观测对信噪比的要求比较低,有利于观测较弱的脉冲星。

乌鲁木齐天文站的25m射电望远镜是为VLBI观测建立的。用目前的18cm波段接收系统观测脉冲星,其灵敏度是很低的,约是澳大利亚 Parkes 的64m射电望远镜灵敏度的1/600,

其中接收系统的灵敏度约是后者的 1/100。必须对 18cm 波段接收系统用澳英的先进技术进行改造。天线面积方面的差距虽无法弥补,但可通过增加观测时间来部分补偿。

新的接收系统主要包括天线单元、致冷式前放、中放、降频转换器、消色散单元、标准频率提供、数字化器、计算机控制采集等部分。技术改造主要有如下 2 个阶段:

(1) 实现消色散接收: 研制一台消色散接收机, 128 个频率通道, 每通道的频带宽度为 2.5MHz, 总频段宽度 320MHz, 共两路。已由英国 Jodrell Bank 射电天文台 Lyne 教授研制完成。在澳大利亚研制降频转换器, 其作用是将前端的 320MHz 带宽划分为彼此相连的频带宽度为 80MHz 的 4 路, 每一路又变成 32 个输出通道, 总共 128 路输出以与消色散接收单元的 128 路输入端相连。降频转换器有 -25db 的增益。已由乌鲁木齐天文站艾力·玉赴澳研制完成。计算机数据采集系统和实时观测的软件系统、由氢钟提供标准时间和频率的专用设备、为实现双偏振接收的两套常温前置放大器均已完成, 并于 1999 年 5 月下旬在乌鲁木齐天文站对这套消色散双偏振脉冲星接收系统进行组装、调试和试观测, 取得了成功, 在短短几天中观测了 30 多颗脉冲星, 最弱的流量密度只有 4mJy。

(2) 降低系统的噪声温度: 研制一台 18cm 致冷的双极化接收机, 噪声温度为 10~15K。关键部分需向 Jodrell Bank 射电天文台购买。由乌鲁木齐天文站派工程师到澳大利亚研制。研制新的低噪声 18cm 馈源(噪声温度 < 6K)。由 Manchester 教授负责设计, 在国内研制。另外还要降低传输损耗。

完成这些改造后, 乌鲁木齐天文站的 25m 射电望远镜在 18cm 波段上观测脉冲星就具备了 1mJy 的灵敏度, 使我国的脉冲星脉冲到达时间的观测研究达到国际先进水平。

5 FAST 射电望远镜的脉冲星观测前瞻

要使我国脉冲星观测研究全面地赶超国际先进水平, 必须要有大型射电望远镜。最近几年, 我国射电天文学家相继提出“65m 口径射电望远镜”^[36]、“1 平方公里大型射电望远镜”(简称 LT 计划)^[37]和“500m 球面射电望远镜”(简称 FAST 计划)^[38,39]等大型或超大型射电望远镜的计划。

LT 计划由 10 个国家的射电天文学家共同提出的, 建议由世界各国出资研制一台接收面积达 1km² 的超大型射电望远镜。LT 计划极其宏伟, 目标是使射电天文观测的灵敏度提高 1~2 个数量级。由各国射电天文学家组成的专家组负责审理世界各国提出的设计方案。我国天文学家提出 LT 计划的独特方案很有吸引力, 已成为重点考虑的少数方案之一。这个方案是利用贵州省的喀斯特凹地地形资源, 建造 30 余面 Arecibo 型的球面天线以组成“LT”。贵州喀斯特凹地地形资源丰富, 可供选择的地点有 100 余处, 这在国际上是独一无二的。这个计划若能实现, 我们当然会受益。然而, 10 个国家的射电天文学家达成共识比较困难, 要得到数额高达 10 亿美元的经费更困难。

FAST 计划, 将利用贵州的喀斯特凹地建设一台口径为 500m 的球面望远镜, 属于 Arecibo 型, 但是在设计上有新的突破^[39]。球面天线将是主动反射面, 它将可能实时地改变被馈源照明的那部分球反射面的形状以最大限度拟合为旋转抛物面, 从而可以用传统的抛物面馈源照明方式来实现宽带与偏振观测, 这比 Arecibo 现在的馈源系统优越得多。此设计还有天空覆盖范围大和可以实现多瓣观测的优点。该天线面积是 Arecibo 的两倍多, 能观测的天区范

围也多两倍,可以说是世界上灵敏度最高的单天线射电望远镜。在 Arecibo 以外的天区,优势更为突出,其灵敏度要比其它单天线射电望远镜高 20~50 倍。

FAST 独立于 LT 的计划,主要依靠我国的力量,已经进行了不少预研究。FAST 射电望远镜的主要科学目标之一就是脉冲星的观测^[40]。它将使我国脉冲星观测研究全面地达到国际先进水平^[41]。这台射电望远镜的灵敏度可使巡天观测深度达到银河系的边缘,从而发现更多的低流量密度、短周期和远距离的脉冲星。脉冲星的数量增加必然伴随新类型的脉冲星的发现。最初发现的 100 颗脉冲星都是正常脉冲星,而且还都是单星。随着发现的脉冲星数目增加到 500 颗时,接连不断地发现新品种:如毫秒脉冲星、双中子星系统、中子星和白矮星系统、中子星和大质量伴星系统、脉冲星的行星系统、X 射线 γ 射线脉冲星、只有 γ 射线而无射电脉冲的脉冲星等。目前人们正在期待发现由脉冲星和黑洞组成的双星系统^[42]。理论估算在银河系中大约有 6 万颗可能观测到的脉冲星。目前仅仅观测到很少的一部分,尚不足 2%,离揭开“庐山真面目”还很远。贵州射电望远镜如果建成不仅会使发现的脉冲星数目成倍地增加,而且还可能发现邻近星系中的脉冲星。

FAST 将是研究作为非热辐射的具体过程的单个脉冲的强有力的工具。在地球上要研究非热辐射过程需要建造巨大的高能物理实验设备,以发现如同步辐射、切伦科夫辐射等。而脉冲星上有多个不停运转着的高能电子加速区,源源不断地产生接近光速的高能电子。在脉冲星的磁层中时时刻刻都在发生非热辐射过程。这些过程以单个脉冲的形式出现,单个脉冲可分为子脉冲、漂移子脉冲、巨脉冲、微脉冲、零脉冲等。FAST 将能有效地对其进行观测研究。

偏振观测可以给出脉冲星辐射特性、辐射区结构、磁场位型等最全面的信息。可是脉冲星的线偏振情况很不相同,有强有弱。圆偏振度则普遍很弱,一般只有 5%。FAST 射电望远镜将可以取得比较弱的脉冲星的线偏振和圆偏振资料,无疑也是有竞争力的观测课题。

FAST 可在脉冲到达时间的观测研究方面的能力大大提高,特别是在验证双中子星系统的引力辐射、银河系背景低频引力波的检测、脉冲星标准钟的建立等方面将大有作为。

参 考 文 献

- 1 Hewish A, Bell S J, Pilkington J D H et al. *Nature*, 1968, 217: 709
- 2 Hulse R A, Taylor J H. *Ap.J.*, 1974, 191: L59
- 3 Hulse R A. *Reviews of Modern Physics*, 1994, 66: 699
- 4 Taylor J H. *Reviews of Modern Physics*, 1994, 66: 711
- 5 Taylor J H, Manchester R N, Lyne A G. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1993, 88: 529
- 6 Manchester R N, Lyne A G, D'Amico N D et al. *M.N.R.A.S.*, 1996, 279: 1235
- 7 Nice D J. PhD thesis, Princeton, USA: Princeton University, 1992
- 8 Stokes G H, Segelstin D J, Taylor J H et al. *Ap. J.*, 1986, 311: 694
- 9 Clifton T R, Lyne A G. *Nature*, 1986, 320: 43
- 10 Dewey R J, Taylor J H, Weisberg J M et al. *Ap. J.*, 1985, 294: L25
- 11 Manchester R N. 1997 年 8 月在北京大学的报告
- 12 Lyne A G, Manchester R N. *M.N.R.A.S.*, 1988, 234: 477
- 13 Johnston S. PhD thesis, Manchester, UK: University of Manchester, Nuffield Radio Astronomy Laboratories, 1994
- 14 吴鑫基, Manchester R N, Lyne A G. *天体物理学报*, 1991, 11: 227; *Chin. Astron. Astrophys.*, 15: 423

- 15 Wu Xinji, Manchester R N, Lyne A G. In: Hankins T H ed. The magnetospheric structure and emission mechanisms of radio pulsars, IAU Colloquium 128, Lagow, Poland, 1990, Zielona Gora, Poland: Pedagogical Univ. Press, 1992: 176
- 16 Wu X J, Manchester R N, Lyne A G *et al.* M.N.R.A.S., 1993, 261: 630
- 17 Qiao Guojun, Manchester R N, Lyne A G *et al.* M.N.R.A.S., 1995, 274: 572
- 18 Manchester R N, Han J L, Qiao G J. M.N.R.A.S., 1998, 295: 280
- 19 Lyne A G, Pritchard R S, Graham-Smith F *et al.* Nature, 1996, 381: 497
- 20 Wang N, Manchester R N, Bails M *et al.* M.N.R.A.S., 1998, Submitted.
- 21 王娜, 吴鑫基. 天文学进展, 已投稿
- 22 Large M I, Vaughan A E. M.N.R.A.S., 1971, 151: 277
- 23 刘学峰, 吴鑫基. 天体物理学报, 1999, 19(1): 68
- 24 黄茂海, 金声震, 吴海娃等. Publication of Beijing Astronomical Observatory, 1993, 22: 19
- 25 康连生, 黄茂海, 金声震等. Publication of Beijing Astronomical Observatory, 1992, 19: 81
- 26 吴鑫基, 康连生, 金声震等. 天体物理学报, 1997, 17(1): 37
- 27 Helfand D J, Manchester R N, Taylor J H. Ap. J., 1975, 198: 661
- 28 Rankin J M. Ap. J., 1986, 301: 901
- 29 Qiu Yuhai. Ap. J. Suppl. Ser., 1996, 243(1): 255
- 30 Kramer M. PhD thesis, Heidelberg: Radio Astronomical Observatory, Max-Planck Institute, Germany 1994,
- 31 Kramer M, Jessner A, Doroshenko O *et al.* Ap. J., 1997, 488: 364
- 32 Shitov Yu. Pulsar Astronomy—2000 and beyond, IAU Colloquium 177, submitted, Bonn, Germany, 1999
- 33 Deshpande A A, Radhakrishnan V. J. Astrophys. Astron., 1994, 15, 329
- 34 Manchester R N. 关于乌鲁木齐天文站 25m 射电望远镜的脉冲星观测课题的讨论, 私人通讯, 1997-03
- 35 Manchester R N. 关于乌鲁木齐天文站 25m 射电望远镜的脉冲星观测课题的讨论, 私人通讯, 1998-10
- 36 叶叔华等. “大型天文设备立项建议书”, 1996
- 37 南仁东. 在贵州 LT 国际会议上的报告, 1996
- 38 南仁东. 1998LT 中国推进委员会年会上的报告
- 39 邱育海. 1998LT 中国推进委员会年会上的报告
- 40 马珥. 1998LT 中国推进委员会年会上的报告
- 41 吴鑫基. FAST 计划科学目标脉冲星课题建议书, 1998
- 42 Qiao G J, Han J L, Zhang B. In: Chang K S, Chan K L eds. Proceedings of the 21st Century Chinese Astronomoy Conference, 1997, Singapore: World Scientific Press, 1998: 305

The Progress and Perspective of Observation of Pulsars in China

Wu Xinji^{1,2} Zhang Jin³ Wang Na^{1,2,3}

(1. The Chinese Academy of Sciences—Peking University Joint Beijing Astrophysics Center, Beijing 100871)

(2. Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

(3. Urumqi Astronomy Station, the Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

Abstract

In this paper, the significance and achievement of the pulsar observation are introduced. The present and potential situation of the pulsar observation research in China is analysed. The cooperation program between China, Australia and Great Britain, “Pulsar timing observation at 18 cm using 25 m radio telescope of Urumqi”, is introduced for its significance, reconstruction of the receiver and its sensitivity. The perspective of the pulsar observation of the FAST program is outlined.

Key words pulsars—observation—timing—radio telescope