

利用Arecibo射电望远镜河外21-cm巡天数据进行中性氢吸收线的探测研究*

吴忠祖^{1†} HAYNES Martha P² GIOVANELLI Riccardo²

朱 明³ 陈如荣³

(1 贵州大学理学院 贵阳 550025)

(2 Center for Radiophysics and Space Research, Space Sciences Building, Cornell University,
Ithaca, NY 14853)

(3 中国科学院国家天文台 北京 100012)

摘要 利用Arecibo射电望远镜40%的ALFALFA (Arecibo Legacy Fast Arecibo L-band Feed Array)河外中性氢巡天数据,探讨了进行中性氢吸收线“盲寻”的过程与方法,并给出了搜寻吸收线的一些初步结果: (1)探测到的中性氢吸收源的数量共有10个,其中5个为文献中已知源,其余新发现的吸收线源需要进一步的研究与证实. (2)利用探测灵敏度给出了探测区域中性氢柱密度的上限,这些上限的频率统计分布显示阻尼莱曼 α 吸收线系统(DLAs) 中的中性氢气体的平均自旋温度与覆盖因子的比值 T_s/f 很可能大于500 K. 射电干扰与驻波是影响Arecibo 河外中性氢吸收线探测的两个重要因素,也将进行一定的分析以及讨论相应的解决方法等. 正在建设中的500 m口径射电望远镜FAST (The Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope)与Arecibo射电望远镜属于相似类型,但在灵敏度、频带宽度、观测天区范围等方面都将有较大的提高,结合目前的研究进展对将来FAST 在中性氢吸收线方面的研究也给出了一定的展望.

关键词 星系: 星际介质, 类星体: 吸收线, 方法: 数据分析

中图分类号: P157; **文献标识码:** A

1 引言

氢元素是星系以及星系介质的重要组成元素,中性氢性质的研究对于理解星系的演化是非常重要的,并且可以提供其他波段所不能给出的信息^[1]. 对射电连续谱源(包括类星体,射电星系等)的中性氢21-cm吸收线的观测可以提供高红移星系的结构以及物理环境的一些信息^[2]. 由于中性氢吸收线的观测不依赖于红移,而仅仅与射电背景源以及吸

2014-09-09收到原稿, 2014-11-07收到修改稿

*国家自然科学基金项目(11163002)、国家自然科学基金-中国科学院天文联合基金项目(U1431111)、科技部973项目(2012CB821800) 资助

[†]zzwu08@gmail.com

收体有关, 中性氢21-cm吸收线可以探测比中性氢发射线所能探测的红移高很多处的中性氢冷气体. 然而HI 21-cm吸收线在低红移河外星系中却较少探测到, 主要是因为它依赖于一个亮的射电源同时在与我们视线方向上存在吸收气体, 而通常前面气体的覆盖因子较小^[3]. 尽管HI 21-cm吸收线在低红移河外星系中探测数量少, 但是由于这类星系红移较小且各类型观测都较多, 可以既有吸收又有发射等多方面的参数信息, 对这类源的吸收线探测研究对研究星系的性质也是非常重要的.

ALFALFA巡天是一个7 000 deg²的河外中性氢21-cm谱线巡天. 与以往大天区中性氢巡天(如HI Parkes All-Sky Survey^[4])相比, ALFALFA巡天在灵敏度与探测深度方面有很大的提高, 具有更高的角与谱的分辨率; 这些特性使得它同时也可以作为一个近邻星系中性氢吸收线“盲寻”的数据库. Darling等^[3]在7% ALFALFA巡天范围尝试搜寻中性氢吸收线, 他们认为对整个ALFALFA巡天进行吸收线搜寻, 或者对其他更高红移、更宽带宽、灵敏度更高的巡天进行搜寻可能会探测到更多的吸收线或者给出一个中性氢气体自旋温度更好的约束. 在这篇文章里, 我们将描述利用40%的ALFALFA巡天数据搜寻中性氢吸收线的一些技术方法以及初步结果. 在更广意义上来说, 我们也希望将来利用正在我国贵州建设的射电望远镜FAST^[5]进行中性氢21-cm吸收线的搜寻. 结合本文的研究结果, 也给出利用FAST开展中性氢吸收线观测研究的一些展望. 本篇文章的结构如下: 第2节简要介绍ALFALFA巡天以及所采用的研究方法与初步结果; 第3节对将来利用FAST开展中性氢吸收线观测的展望; 第4节结论部分.

2 ALFALFA 巡天中的吸收线探测

ALFALFA巡天利用7波束射电“相机”ALFA (Arecibo L-band Feed Array), 谱线速度分布范围: $-2000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1} < v < 17900 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[6], 覆盖了大约7 000 deg²的天区, 分布在Arecibo望远镜天顶方向两侧18°的范围^[7]. 每个子频带的噪声水平在平滑到10 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 后大约是2.2 mJy^[8].

在作为中性氢发射线巡天探测的同时, ALFALFA所产生的数据同样也可以用来搜寻红移 $z < 0.06$ 的吸收体. 事实上, Darling等^[3]通过研究认为它可以用来作为很高的灵敏度以及空间覆盖的数据来搜寻中性氢吸收线.

2.1 探测方法

我们中性氢吸收线搜寻覆盖了40%的巡天观测范围, 这个范围是由Haynes等^[7]来定义的:

(1) $07^{\text{h}}30^{\text{m}} < \text{R.A.} < 16^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $+04^{\circ} < \text{Dec.} < +16^{\circ}$ 与 $+24^{\circ} < \text{Dec.} < +28^{\circ}$; (2) $22^{\text{h}} < \text{R.A.} < 03^{\text{h}}$, $+14^{\circ} < \text{Dec.} < +16^{\circ}$ 与 $+24^{\circ} < \text{Dec.} < +32^{\circ}$. 我们先围绕这个天区范围在NRAO VLA Sky Survey (NVSS) 星表中寻找到了大约48 820个射电流量大于8.4 mJy (这个流量下限参见文献[3]) 的NVSS 射电连续谱源.

对于天空中的每个 $2.4^{\circ} \times 2.4^{\circ}$ 大小的区域, ALFALFA数据都包含了4个频谱波段. 每个频谱波段包含了1 024个子波段, 这样每个频谱波段之间大约有100个左右的子波段重叠^[6]. 通过查询NVSS样本中连续谱源的角大小, 我们发现样本中的源的尺度都小于ALFALFA 巡天的波束大小($\sim 3.5'$). 对于每个NVSS源, 我们提取了4个 $4' \times 4'$ 大小的

数据块, 每个数据块都在连续谱源的位置附近. 这个数据会通过积分产生一个谱用来检测是否具有吸收线, 这个提取数据块的方法可以参见文献[9].

吸收线搜寻方法是建立在优化基础上的过滤对比方法, 是由Saintonge^[8]提出的, 通过调整高斯形状在谱线中进行拟合对比, 进而得到对候选体合适的高斯拟合形状来证认. 这个方法的介绍以及本文(1)~(8)式参见Saintonge^[8], 具体如下: 信号提取技术取决于模型与数据的交叉相关, 为了更好地对一个信号 $g(x)$ 进行拟合, 其中 x 是子频带(channel)序号(对于ALFALFA数据来说是1~1024), 首先假设 $g(x) \simeq \alpha t(x - \delta; \sigma)$, 也就是用一个模型 t 来代表这个信号, 其中 α 表示模型信号振幅, δ 表示模型信号中心子频带位置, σ 表示模型信号的宽度, 选择适当的模型使(1)式取最小值, 即 χ^2 取最小值.

$$\chi^2 = \sum_{x=1}^N [\alpha t(x - \delta; \sigma) - g(x)]^2, \quad (1)$$

其中 $N = 1024$ 是最后一个子频段, $g(x)$ 表示数据中实际的信号. 接下来假设 σ_g^2 与 σ_t^2 为信号与模型的方差:

$$\sigma_g^2 \equiv \frac{1}{N} \sum_x g(x)^2, \quad (2)$$

$$\sigma_t^2 \equiv \frac{1}{N} \sum_x t(x)^2, \quad (3)$$

并且假设 $c(x)$ 为归一化的相干方程,

$$c(x) = g(x) * t(x - \delta; \sigma) = \frac{1}{N\sigma_g\sigma_t} \sum_n [g(n)t(n - x)], \quad (4)$$

利用上面的系列方程与条件, χ^2 可以被写为:

$$\chi^2 = \alpha^2 N \sigma_t^2 + N \sigma_g^2 - 2\alpha N \sigma_g \sigma_t c(\delta). \quad (5)$$

这个表达式的 χ^2 可以通过调节下面的3个参量 α 、 δ 与 σ 来达到最优化, 从而找到最合适的模型拟合信号 $g(x)$. 第1步利用方程 χ^2 的1阶微分等于0来得到模型的峰值 α (包含相关函数参量):

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial \alpha} = 2\alpha N \sigma_t^2 - 2N \sigma_g \sigma_t c(\delta), \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_g}{\sigma_t} c(\delta), \quad (7)$$

从而 χ^2 可以表达为下面的式子:

$$\chi^2 = N \sigma_g^2 [1 - c(\delta)^2], \quad (8)$$

从这个方程显示 χ^2 的最小化就等效于计算相关函数 $c(\delta)$ 的最大化, 这可以通过调节模型宽度 σ 与中心频率 δ 来实现. 以上是搜寻发射线的原理, 对于吸收线采用的做法是将谱线数据都乘以-1, 然后按照搜寻发射线的原理进行搜寻, 在这个工作中采用的模型都是 σ 从3到50的高斯模型, 这是参考现有文献中中性氢吸收线的宽度而给出的.

在搜寻吸收线候选体之后, 接下来更重要的事情是利用约束条件来探测从数据块中产生的谱线是否真实, 下面是我们考虑的几个方面的判据: (1) 对于谱线的两个偏振的信噪比都要大于或接近5.0. (2) 两个偏振方向的谱线在中心频率处的权重都要大于0.65, 由于已知射电干扰或不合理的信号都做过处理, 它们的权重都比较小. (3) 谱线的中心频率与已知射电干扰的几个频率都不重合. (4) 没有明显的驻波影响.

2.2 结果分析

射电连续谱源在1.4 GHz波段的性质也是证认吸收谱线真实与否的重要因素^[6]. ALFALFA 巡天的范围被NVSS覆盖, 所以我们只是考虑ALFALFA 天区中的NVSS连续谱源, 所有探测到的吸收线候选天体都有NVSS源的对应体. ALFALFA巡天也给出了连续谱的射电流量, 这个流量用来与NVSS给出的流量进行比较参考, 用来了解射电连续谱的性质. 这两方面给出的射电连续谱源的射电辐射流量对于证认吸收谱线都是必要的参考.

Darling等^[3] 给出了在517.0 deg² (7% 的ALFALFA 天区)探测吸收线的结果, 他们没有探测到新的中性氢吸收线天体, 重新发现了已知本征吸收线源UGC 6081. 利用我们在上一部分中介绍的方法, 搜寻了40%的ALFALFA天区, 发现仅仅利用程序按照上一部分中介绍的方法及判据可以给出数百至上千候选体, 我们需要人为用眼睛仔细检查他们受射电干扰及驻波的影响. 发现很多候选体用程序无法自动排除, 对于初步的研究我们对这些候选体在NED 数据库¹ 中寻找对应体; 最终确定10个置信度较高的样本作为我们最终的结果, 这其中包括5 个已知的吸收线源: NGC 315、UGC 06081、IC 860、NGC 5363、CGCG 049-057. 图1 中是我们对NGC 315的吸收线得到的频谱图. 以上是我们根据现有数据得到的初步探测结果, 为了更好地对这些探测结果尤其是新的探测结果进行进一步的证认与性质研究, 还需要新的观测(包括射电干涉阵或VLBI (甚长基线干涉测量法) 等)或理论进行更深入的分析研究.

根据天区范围以及探测的结果: 40%的天区探测到10个左右以及下一部分介绍的1~4个的探测误差, 我们预计整个ALFALFA巡天中大概会有25 个左右的吸收线源. 我们也注意到Allison 等^[10] 通过他们利用HI Parkes All-Sky Survey中性氢吸收线的探测率以及结合Darling 等^[3]利用ALFALFA巡天数据的探测结果(7%的天区中搜寻到一个吸收线), 预计整个ALFALFA 巡天将探测到他们探测数量(4 个源)的3~4 倍. 由于本文的探测是直接基于较大的ALFALFA巡天天区数据搜寻, 而他们只是根据探测率以及两个不同望远镜灵敏度差异的估算, 我们认为25 个左右会更合理一些.

2.3 结果可靠性检验

为了验证搜寻结果的可靠性, 我们制造了随机的高斯信号:

$$P(x) = -a \times e^{-(x-b)^2/(2 \times c^2)}, \quad (9)$$

把这些随机信号加到每个我们提取的谱线中, 其中参数 a 、 b 、 c 都是在一定范围内随机选取的: a 从10到100; b 在所选的谱线速度范围之内; c 从20到100. 我们尝试把数千个随机信号加到数千个谱线中, 最终尝试每个谱线加一个随机信号, 大致有94%的假信号被

¹<http://ned.ipac.caltech.edu/>

我们的程序搜寻到. 如果参数 a 选取从5到10, 则只有45%的假信号被探测到, 在我们探测到的吸收线中有3个源吸收深度小于10 mJy, 根据我们程序的可靠性估算, 预计探测到的吸收线源的数量在吸收深度大于5 mJy的条件下大概会有1~4个的误差.

2.4 中性氢柱密度上限及其分布方程

利用40%的ALFALFA巡天数据没有探测到较多的中性氢吸收线, 基于这个结果我们估计利用全部巡天数据也不会探测到太多数量的吸收线(见2.3节). 但是每一个对射电连续谱的中性氢探测都会给出一个中性氢柱密度的上限(如下两个公式参见Darling等^[3]):

$$N_{\text{HI}} < 1.8 \times 10^{18} (T_s/f) 1.064 \text{ FWHM} \cdot \tau \text{ cm}^{-2}, \quad (10)$$

其中的光深 τ 为:

$$\tau < -\ln \left(1 - \frac{4.6 \times \text{rms mJy}}{S(1.4 \text{ GHz})} \right), \quad (11)$$

其中 T_s 表示中性氢原子的自旋温度, f 表示覆盖因子, 最小的FWHM假设为 $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ (ALFALFA河外巡天的谱分辨率平均平滑为 $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$), S 表示1.4 GHz射电连续谱流量. 我们采用了4.6 rms 作为谱线吸收流量的上限, 其中数值4.6参考Darling等^[3], rms 代表的是谱线噪声, 我们也去掉了一些源流量小于4.6 rms 的源, 得到源的总数是27 843.

中性氢柱密度频率分布 $f(N_{\text{HI}}, X)$ 表示每单位柱密度、每吸收路径宇宙距离 ΔX 上的吸收系统的数目, 即可以用 $f(N_{\text{HI}}, X)dN_{\text{HI}}dX$ 来表示中性氢柱密度在 N_{HI} 与 $N_{\text{HI}} + dN_{\text{HI}}$ 之间的吸收源的数目^[11-13]. 但由于真正探测到中心氢吸收源的数量极少, 我们采用与Darling等^[3]同样的方法((12)式), 计算了 $f(N_{\text{HI}}, X)$ 的上限:

$$f(N_{\text{HI}}, X) < \frac{\lambda_{\text{max}}}{\Delta N_{\text{HI}} \Delta X}, \quad (12)$$

其中 λ_{max} 是在中性氢柱密度间隔 ΔN_{HI} 中吸收线探测率的泊松上限, ΔX 表示吸收线探测宇宙尺度函数, $\Delta X = \delta X n_{\text{sens}}$, $\delta X = 0.0571$ 是修正的红移间隔 $\delta z = 0.0545$, n_{sens} 是在大于或等于 N_{HI} 情况下可探测源的数量. 如果没有实际探测到, 则95% 置信度上限 $\lambda_{\text{max}} = 3.00$. 图2 给出了我们利用 $T_s/f = 100 \text{ K}$, 500 K , 1000 K 得到的 $f(N_{\text{HI}}, X)$ 分布; 由于我们的搜寻范围比Darling 等^[3] 工作中的大6 倍, 从图中可以看出我们得到的 $T_s/f = 100 \text{ K}$ 对应的 $f(N_{\text{HI}}, X)$ 分布比文献[11-13]通过对中性氢发射线或DLAs 的观测数据定出的 $f(N_{\text{HI}}, X)$ 低, 这与文献[3] 的预期是相符合的, 主要是由于我们可探测数量比以前增加了很多. 从该图我们还可以看到, 如果要与前人文献中的结果符合, 则氢原子的自旋温度与覆盖因子的比值 T_s/f 至少需要大于500 K, 如果覆盖因子 f 接近或等于1, 这个结果预示DLAs的平均自旋温度可能将大于500 K. 将来灵敏度更高的射电望远镜如FAST 等进行类似的巡天, 将会在探测天区以及可探测中性氢吸收的连续谱源的数量上有较大的提高, 从而对自旋温度有更好的约束.

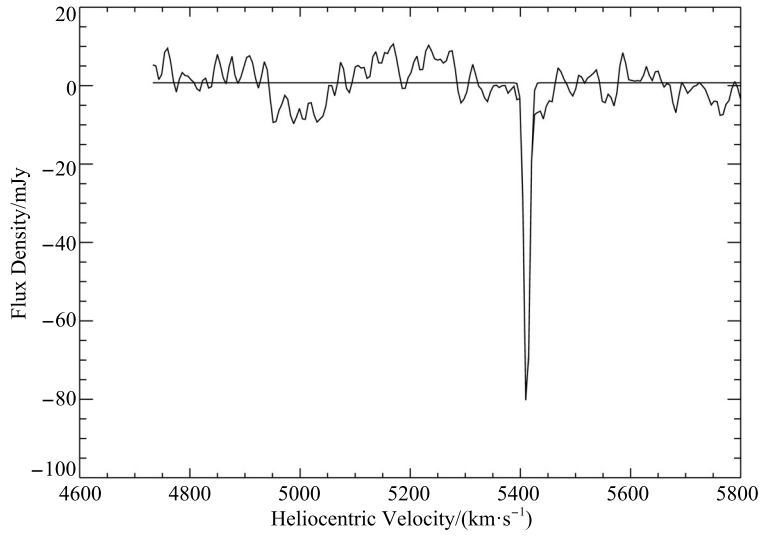


图1 NGC 315的吸收线谱

Fig. 1 The absorption spectrum of NGC 315

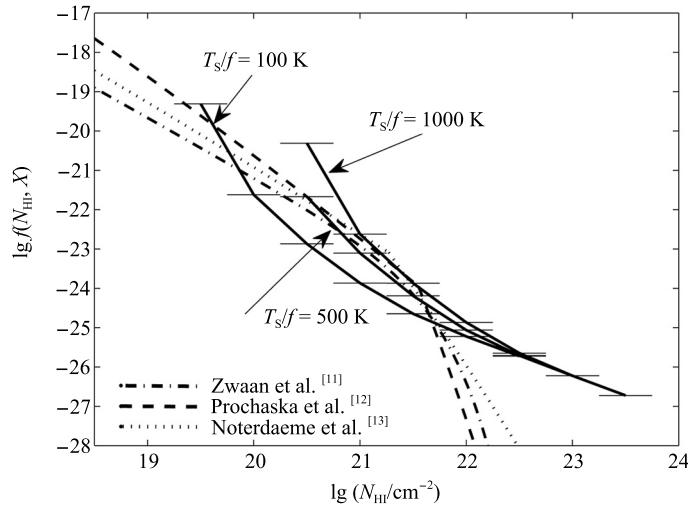


图2 中性氢柱密度频率统计分布图

Fig. 2 The frequency distribution diagram of neutral hydrogen column density

2.5 技术上因素探究

图3 显示了连续谱流量密度 F_{NVSS} 与谱线噪声水平之间的关系图. 从图中我们可以看到连续谱流量较高, 谱噪声水平也相对较高, 同时有一些射电连续谱流量较低但同样噪声水平也较高, 由于吸收线总体数量较少而且吸收深度不高, 较高的噪声水平对探测吸收线影响是较大的. 这其中有几方面的技术因素会影响到吸收线的搜寻, 包括灵敏度、频率范围、谱的分辨率、射电干扰环境、驻波等. 而其中射电干扰与驻波是两个重要的因素.

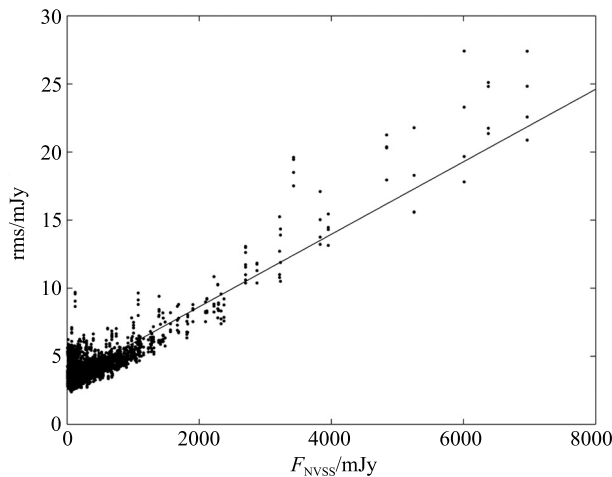


图 3 连续谱的流量密度与谱线噪声之间的关系

Fig. 3 The relation between the continuum flux density and the noise level of the extracted spectrum

2.5.1 射电干扰

电视、手机以及其他人造信号源会产生较强的具有偏振的辐射,有些即使散射后仍然存在偏振,所以通常利用偏振观测来去除射电干扰信号^[14].对于ALFALFA同样存在偏振观测,而中性氢吸收线谱形通常不存在偏振,所以我们将偏振作为吸收线是否真为其中一个判据:在两个偏振方向上真的吸收线谱形应该具有相似的形态.圣胡安机场的美国联邦航空管理局的雷达工作在1 350 MHz的频率上,由此在15000到16000 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,以及在8 800、3 300、2 200 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 等处都会产生吸收谱形,这些都是1 350 MHz 频率雷达信号以及调制信号造成的^[15].尽管数据中已经对一些射电干扰信号做了处理,但是对于吸收线探测仍然存在一定的影响,如图4.在这个例子中,我们在这个吸收体位置搜寻射电连续谱流量,没有任何射电辐射,另外这个吸收谱线光深较大,也在雷达信号附近.综合以上信息,我们认为这个吸收谱是由射电干扰造成的假的吸收线.

2.5.2 驻波

驻波通常是由连续谱源或人为的干扰信号在多次反射传播过程中产生的.对于ALFALFA巡天,驻波通常是在主反射面与中心遮挡体之间产生,从而影响一些弱吸收线的探测.通常如果连续谱源大于200 mJy,都可能会产生驻波效应^[3].对于一些强的射电源(如M87,见图5),在它们的周围很难做中性氢谱线的观测,除非一些非常强的发射或吸收线. Ghosh等^[16]开发了一种针对Arecibo望远镜进行“双位置切换”模式观测一些较高射电流量源,从而能够更好地处理驻波带来的影响,他们发现这种模式是非常有效的,具体如下:当观测一个连续谱源频谱的时候,一个附近不同红移处的“参考”连续谱源也同时采用同样的ON/OFF位置切换模式观测,然后(1)式可以用来处理谱的基线,从而减少驻波带来的影响.对于目标源与参考源都要进行位置切换的观测, R 是指得到的一个比率谱,这与两个源的连续谱流量的比率是成正相关的(详见文献^[16]).

$$R = (\text{On} - \text{Off})_{\text{cont}_A} / (\text{On} - \text{Off})_{\text{cont}_B}, \quad (13)$$

其中下标 cont_A 和 cont_B 分别表示连续谱源A和B.

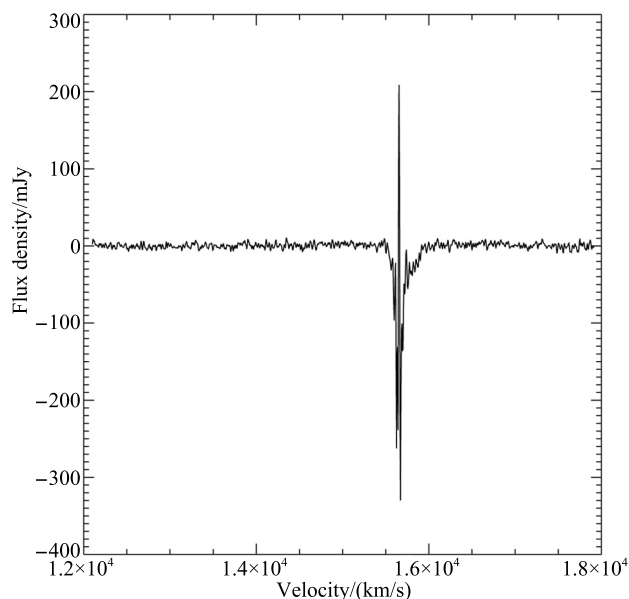


图 4 射电干扰产生的假吸收线谱

Fig. 4 The fake absorption profile caused by a radio frequency interference

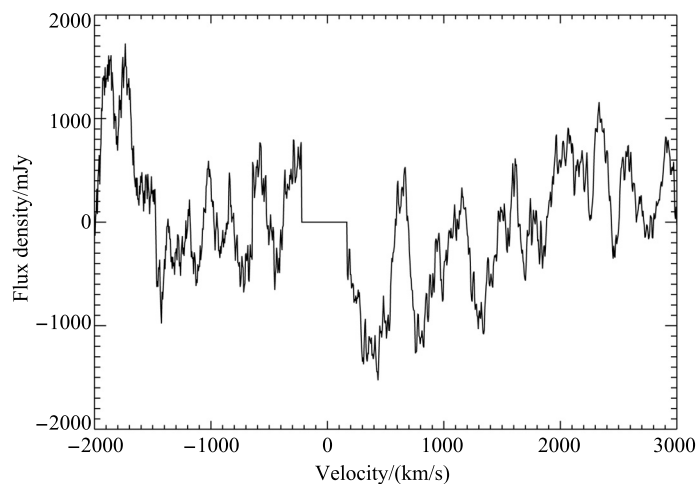


图 5 M87源所产生的驻波效应

Fig. 5 The standing waves around continuum source M87

3 对将来FAST开展中性氢吸收线探测的展望

前面我们给出了利用ALFALFA河外中性氢巡天数据进行中性氢吸收线“盲寻”的方法与初步结果, 但是探测到的数量较少. 通过调研文献我们发现目前中性氢吸收线探测数量最多的是利用大型射电望远镜对中性氢气体含量较多的射电源进行观测(如文

献[17]及其中的参考文献). FAST望远镜是我国在建的一个大科学工程, 建成后将成为世界上最大的单口径射电望远镜^[5,18]. FAST是一个与Arecibo 类型相似但性能更强大的望远镜, 其中一个大科学目标是利用中性氢来探测数万个星系^[5]. 结合我们的研究结果, 在中性氢吸收线观测方面, 我们预计FAST也将可以在以下两个方面取得较好的观测研究.

3.1 利用邻近星系的中性氢谱线巡天数据来“盲寻”中性氢吸收线

通过文献[3]以及我们的工作, 我们认为中性氢21-cm 发射线谱线巡天数据同时也可以作为中性氢吸收谱线的盲寻数据, 但是探测率非常低. Allison等^[10]通过理论预计整个ALFALFA巡天大约可以探测到12~16个吸收谱线, 但通过我们对ALFALFA 巡天的研究, 我们估计整个ALFALFA会探测到25个左右的吸收谱线, 这相对于天区范围内的数万个连续谱源来说, 探测率仍然是非常低的. FAST望远镜的天区覆盖将会比ALFALFA大两倍^[5], 而灵敏度预计会提高两倍以上. 同样FAST L波段19波束接收机也将会有更大的带宽, 从而探测红移更高的吸收线, 这样整体估计FAST将比ALFALFA的探测能力高一个量级左右, 由此可以估算将来FAST巡天将会比现有ALFALFA探测数量有一个量级的提高. 尽管通过巡天“盲寻”方式探测到的中性氢吸收线探测率不是很高, 但是它也是一种对一些暗星系或星云探测的特殊手段, 对于中性氢吸收气体的自旋温度也会给出统计方面的约束^[3], 也可参见2.4节中的结果.

3.2 利用对特定天体的观测来探测中性氢吸收线

除了在已有的中性氢巡天数据中进行吸收线的“盲寻”之外, 对一些特殊的连续谱源进行直接观测也可以更好地进行探测与研究中性氢吸收线. 目前观测研究较多的中性氢吸收线的天体或天体系统主要包括活动星系核、DLAs、恒星形成星系等, 其中DLAs性质与活动星系核的环境研究是两个主要的方面:

(1) 活动星系核环境

中性氢21-cm 吸收谱线可以反映吸收星系中中性氢气体的一些信息, 包括运动, 质量, 物理尺度以及介质环境, 从而反映中央引擎活动星系核的性质. 年轻射电星系通常被认为存在于一个介质丰富的环境中, 这样可以提供并合与相互作用的能量从而触发一个活动星系核的形成^[19]. 早期对较完善射电星系样本中性氢吸收研究的前驱工作包括文献[20], 接下来也有很多尝试从低红移到高红移探测研究(例如文献[17, 21-23]等), 不过到目前为止, 通过我们的调研总数量只有几十个的源被较好地探测到, 这些源中大部分都是年轻的射电星系包括GHz峰值频率源(GPS), 致密陡谱源(CSS) 等, 以及少量的I型与II型射电星系.

(2) DLAs

DLAs是具有最高中性氢柱密度的一类吸收体系统, 通常在类星体的光学光谱中发现, 也被认为很可能是现今星系的前身^[24]. 最近的巡天发现超过12 081个DLAs的中性氢柱密度 $\lg(N_{\text{HI}}/\text{cm}^{-2}) \geq 20$, 以及超过6 839个 $\lg(N_{\text{HI}}/\text{cm}^{-2}) \geq 20.3$ ^[25]. 然而包含射电噪类星体的DLAs的数量却比较缺少, 而且射电望远镜在1 GHz以下的频率覆盖也不是很好, 这些因素使得目前只有大约30个左右的DLAs在射电波段被较好地探测, 从而自旋温度被较好地估算^[26].

总之, 通过我们调研文献发现, 目前探测到的各种中性氢吸收谱线数量还非常少. 然而中性氢吸收线对于回答以下科学问题却是非常至关重要的: (1) 星系中恒星形成的中性氢气体的物理环境. (2) 活动星系核的环境以及其是如何给活动星系核提供能源的^[26]. 由于目前射电望远镜灵敏度的限制, 规划建设中的大型射电望远镜及望远镜阵(如FAST, SKA (Square Kilometer Array)等)将能够对一些特殊的高中性氢柱密度的天体包括活动星系核、DLAs等进行很好的观测研究, 这将使得中性氢吸收体的数量大大增加, 尤其是FAST望远镜将比SKA 更早地建设完成, 有望在SKA建设完成之前实现现有中性氢吸收体数量在量级上的提高, 而不同类型中性氢吸收线搜寻与探测也是SKA的重要目标^[2].

4 总结与展望

在这篇文章中, 我们报告了利用40%的ALFALFA巡天数据进行中性氢吸收线“盲寻”的一些方法、遇到的问题及初步结果等. 我们初步的结果显示只有少量的大约10个左右的中性氢吸收线被探测到, 探测率比较低, 但与前人的结果是相符的. 其中射电干扰与驻波是影响探测的两个方面的因素, 增加了我们处理的难度. 根据我们的结果, 我们预估整体ALFALFA将可以搜寻到25个左右的中性氢吸收源. 另外结合我们的研究, 我们对FAST望远镜在中性氢吸收线方面的研究给出一些预估; 根据FAST在灵敏度以及天区覆盖等方面预计都将比Arecibo有大的提高, 我们估算将来FAST在整体探测数量上比现有的中性氢吸收线搜寻结果将有大约一个量级的提高.

参考文献

- [1] Haynes M P. AIPC, 2008, 1035: 337
- [2] Kanekar N, Briggs F H. NewAR, 2004, 48: 1259
- [3] Darling J, Macdonald E P, Haynes M P, et al. ApJ, 2011, 742: 60
- [4] Meyer M J, Zwaan M A, Webster R L, et al. MNRAS, 2004, 350: 1195
- [5] Nan R D, Li D, Jin C J, et al. IJMPD, 2011, 20: 989
- [6] Giovanelli R, Haynes M P, Kent B R, et al. AJ, 2005, 130: 2598
- [7] Haynes M P, Giovanelli R, Martin A M, et al. AJ, 2011, 142: 170
- [8] Saintonge A. AJ, 2007, 133: 2087
- [9] Fabello S, Catinella B, Giovanelli R. MNRAS, 2011, 411: 993
- [10] Allison J R, Sadler E M, Meekin A M. MNRAS, 2014, 440: 696
- [11] Zwaan M A, van der Hulst J M, Briggs F H, et al. MNRAS, 2005, 364: 1467
- [12] Prochaska J X, Wolfe A M. ApJ, 2009, 696: 1543
- [13] Noterdaeme P, Petitjean P, Ledoux C, et al. A&A, 2009, 505: 1087
- [14] Chang T C, Pen U L, Bandura K, et al. Nature, 2010, 466: 463
- [15] Giovanelli R, Haynes M P, Kent B R, et al. AJ, 2007, 133: 2569
- [16] Ghosh T, Salter C. ASPC, 2002, 278: 521
- [17] Gupta N, Salter C J, Saikia D J, et al. MNRAS, 2006, 373: 972
- [18] Li D, Nan R, Pan Z. IAU, 2013, 291: 325
- [19] Morganti R, Holt J, Tadhunter C, et al. IAU, 2010, 267: 429
- [20] van Gorkom J H, Knapp G R, Ekers R D, et al. AJ, 1989, 97: 708

- [21] Pihlström Y M, Conway J E, Vermeulen R C. A&A, 2003, 404: 871
- [22] Vermeulen R C, Pihlström Y M, Tschager W, et al. A&A, 2003, 404: 861
- [23] Curran S J, Whiting M T. ApJ, 2010, 712: 303
- [24] Kanekar N, Chengalur J N. IAUTA, 2005, 199: 156
- [25] Noterdaeme P, Petitjean P, Carithers W C. A&A, 2012, 547: 1
- [26] Kanekar N, Morganti R, Briggs F H, et al. AcA, 2009, 2010: 149

HI Absorbers from Arecibo Legacy Fast ALFA Survey

WU Zhong-zu¹ HAYNES Martha P² GIOVANELLI Riccardo² ZHU Ming³
CHEN Ru-rong³

(1 College of Science, Guizhou University, Guiyang 550025)

(2 Center for Radiophysics and Space Research, Space Sciences Building, Cornell University, Ithaca, NY 14853)

(3 National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

ABSTRACT We present some preliminary results of an on-going study of the HI 21-cm absorption line based on the 40% data release of the Arecibo Legacy Fast Arecibo L-band Feed Array (ALFALFA) survey. Ten HI absorption candidates have been detected. Five of them are previously published in the literature, and the rest of them are new detections that need further confirmation. For those sources with no detected absorptions, we calculated the upper limits of their foreground HI column density N_{HI} . The statistical result of the N_{HI} distribution indicates that the ratio of average spin temperature to covering factor T_s/f for DLAs (the damped Ly α systems) might be larger than 500 K. Radio frequency interference (RFI) and standing waves are the main issues affecting the detection of HI absorption profiles. Our study can serve as the pathfinder for a large scale search of HI 21-cm absorption lines using the Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope (FAST) which is an Arecibo-type radio telescope currently under construction in China. We discuss two types of observational studies of HI absorptions toward extragalactic sources using the FAST telescope.

Key words galaxies: ISM, quasars: absorption lines, method: data analysis