

TM65m望远镜谱线观测系统的频率校准*

李 娟^{1,2†} 吴亚军^{1,2} 乔海花^{1,2,3} 王均智^{1,2} 左秀婷^{1,2}

(1 中国科学院上海天文台 上海 200030)

(2 中国科学院射电天文重点实验室 上海 200030)

(3 中国科学院大学 北京 100049)

摘要 频率校准是进行谱线天文观测前必做的准备工作,对上海天文台TM65m射电望远镜的谱线终端DIBAS (Digital Backend System)进行了频率校准及测试工作,发现它有良好的性能. 首先,进行了PCAL信号注入测试,对DIBAS终端的频率分辨率、频率漂移、谱之间间隔的稳定性进行了测试. 1 h内,单个尖峰频率漂移的最大变化幅度为0.03通道,尖峰之间间隔的最大起伏为0.05通道. 然后,通过对大质量恒星形成区的H₂CO脉泽与吸收线的观测,以及与GBT (Robert C. Byrd Green Bank Telescope)观测结果的比较,发现频率校准的结果是正确的. 最后,对W3(OH)进行了1个多小时的羟基脉泽观测和5个多小时的甲醇脉泽观测,发现谱线的谱型保持一致,观测噪声与理论噪声一致,说明频率校准程序是稳定可靠的.

关键词 技术: 测光, 谱线: 证认, 射电谱线: 星际介质, 星际介质: 分子

中图分类号: P 161 文献标识码: A

1 引言

上海天文台TM65m射电望远镜坐落于上海市松江区,口径65 m,是一个全方位可动的地平式射电天文望远镜,总重量达到2 700吨,设计最高工作频率43 GHz. 望远镜采用高精度实面板,指向精度优于15",并安装有主动面调整系统,目前可以在L(1.25~1.75 GHz)、C(4.0~8.0 GHz)、S/X(2.15~2.45/8.2~9.0 GHz)、Ku(12.0~18.0 GHz)波段工作,不久的将来还将配备K(18.0~26.5 GHz)、Ka(30.0~34.0 GHz)和Q(40.0~46.0 GHz)波段接收机^[1-4].

分子谱线观测是TM65m射电望远镜的重要研究方向之一,较宽的频率覆盖使其能够观测氢原子21 cm谱线、羟基脉泽、甲醇脉泽、水脉泽、氨分子、一氧化硅分子、甲醛吸收线及氢离子、氦离子、碳离子的复合线等. 利用这些谱线可以做很多工作,如银

2015-03-23收到原稿, 2015-05-21收到修改稿

*973项目(2012CB821800)、国家自然科学基金项目(11103006, 11173051)资助

[†]ljjuan@shao.ac.cn

河系内恒星形成与化学演化、银河系大尺度结构等方面的研究,利用谱线的速度信息还能够进行分子云动力学方面的研究,表1列出了落在TM65m望远镜观测范围内的比较强的谱线.

一般星际分子谱线观测有5个重要参数——谱强度、谱线线心速度、谱线速度范围、谱线半功率宽度以及谱线轮廓. 由于地球自转,各台站的运动速度沿视线方向的分量是不同的,且随时间变化. 为了全世界观测的一致,需要改正这一效应,也就是说各个台站不同时间观测的时候,都要对数据进行多普勒改正. 频谱仪本身的性质如谱响应、谱分辨率,对于上述分子谱线参数的测量也是非常重要的^[5]. 本文首先介绍TM65m射电望远镜的终端系统DIBAS的系统组成与谱线观测模式,之后介绍了谱线终端系统频率校准的原理,最后给出了我们利用PCAL信号对频谱仪谱响应测量的结果,以及用频率校准后的DIBAS终端进行的谱线试观测结果.

表 1 TM65m望远镜能够观测的主要分子/原子发射线的静止频率
Table 1 List of the rest frequency of molecular/atom emission lines that could be observed with the TM65m radio telescope

Name	Rest frequency/GHz
H	1.420
OH	1.612/1.665/1.667/1.720, 4.750/4.765, 6.030/6.035
H ₂ CO	4.83/14.5
CH ₃ OH	6.7/12.2...
HC ₃ N	18.196/27.294/36.392...
HC ₅ N	7.988/15.976...
NH ₃	23.694/23.723/23.870
H ₂ O	22.235
CS	48.991
SiO	42.424

2 望远镜的谱线终端

TM65m望远镜采用DIBAS终端进行谱线观测,该终端同时也是TM65m望远镜的脉冲星终端. 整个设备包括数据采集、数据处理、存储和观测控制4部分(见图1),由上海天文台和美国国家射电天文台(National Radio Astronomy Observatory, NRAO)共同研制完成.

DIBAS终端支持29个不同的谱线观测模式,这些模式可分为单窗口模式和多窗口模式,单窗口模式又分为宽带和窄带两种模式. 模式1、2、3为单窗口的宽带模式,这些模式能够覆盖很宽的频率范围,带宽最高达1.5 GHz,最多有16 384个通道,最高频率分辨率61 kHz (对应C波段速度分辨率2.7 km·s⁻¹). 利用宽带模式可以同时观测多条谱线,极大地提高了观测效率. 模式4~19为单窗口的窄带模式,这些模式主要用来进行高频率分辨率的观测,频率分辨率最高可达0.02 kHz (对应C波段速度分辨率0.000 9

$\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$). 模式20~29为多窗口模式, 共有8个带宽24 MHz或16 MHz的窗口, 频率分辨率最高达0.24 kHz (对应C波段速度分辨率 $0.01 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$). 这些窗口可以置于接收带宽内的任意位置, 可以以很高的频率分辨率同时观测多条谱线. 总之, DIBAS终端既能够提供宽的频率覆盖, 又能够提供高频率分辨率模式, 极大地提高了TM65m望远镜厘米波段分子谱线的观测能力, 将有助于观测者更高效地利用TM65m望远镜进行天文观测, 并利用观测数据得到最大限度的科学产出. 表2给出了DIBAS谱线模式1~29的窗口数目 N_{band} 及带宽BW、通道数目 N_{chan} 、频率分辨率 Δf 及对应各个频段的速度分辨率 Δv . 如表2所示, 模式6只有一个带宽187.5 MHz的窗口, 131 072个通道, 频率分辨率1.4 kHz, 在L、C、X、K、Q波段的速度分辨率分别为0.25、0.06、0.05、0.02、0.01 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右. 模式20则有8个带宽23.44 MHz的窗口, 每个窗口有4 096通道, 频率分辨率5.7 kHz, 在L、C、X、K、Q波段的速度分辨率分别为1.01、0.26、0.19、0.076、0.038 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右.

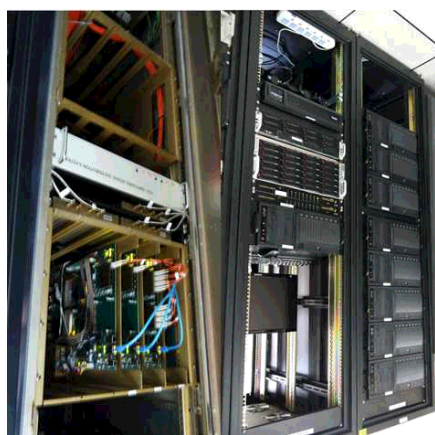


图 1 DIBAS终端

Fig. 1 The DIBAS backend

3 频率校准

3.1 多普勒校准

3.1.1 本地静止坐标

由于地球自转, 各台站的运动速度沿视线方向的分量是不同的, 而且是随时间变化的. 为了改正这一效应, 应将台站的运动归算到本地静止标准(Local Standard of the Rest, LSR). 对恒星光谱(主要是A到G光谱型)的分析表明: 太阳相对其附近的恒星有一系统运动. 因此, 将LSR定义为, 与太阳位置一致的点、以局域的圆运动速度围绕银心旋转的坐标系. 太阳在LSR中以 $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度朝向赤经18 h、赤纬 30° (1900)的方向运动^[6].

3.1.2 多普勒改正

为了将速度转换到LSR坐标, 需要改正4个运动成分的影响, 即太阳相对LSR速度的视向分量、地月质心相对太阳速度的视向分量、地心相对地月质心速度的视向分量以

及观测者相对地心速度的视向分量. 下面分别介绍这几个速度分量的计算方法, 此处主要参考了中国科学院上海天文台李纲博士的学位论文^[7].

表 2 谱线模式参数表
Table 2 The parameters of molecular line observing modes

Mode	N_{band}	BW /MHz	N_{chan}	Δf /kHz	$\Delta v / (\text{km} \cdot \text{s}^{-1})$				
					45 GHz	22.5 GHz	9 GHz	6.7 GHz	1.7 GHz
1	1	1500	1024	1465	9.8	19.5	49	66	259
2	1	1500	16384	92	0.6	1.2	3.1	4.1	16.2
3	1	1000	16384	61	0.4	0.8	2.0	2.7	10.8
4	1	187.5	32768	5.7	0.04	0.08	0.19	0.26	1.01
5	1	187.5	65536	2.9	0.02	0.04	0.10	0.13	0.51
6	1	187.5	131072	1.4	0.01	0.02	0.05	0.06	0.25
7	1	100	32768	3.1	0.02	0.04	0.1	0.14	0.55
8	1	100	65536	1.5	0.01	0.02	0.05	0.07	0.26
9	1	100	131072	0.8	0.005	0.01	0.03	0.036	0.14
10	1	23.44	32768	0.7	0.005	0.009	0.023	0.031	0.124
11	1	23.44	65536	0.4	0.003	0.0053	0.013	0.018	0.07
12	1	23.44	131072	0.2	0.0013	0.0026	0.0067	0.009	0.035
13	1	23.44	262144	0.1	0.0007	0.0013	0.0033	0.0045	0.018
14	1	23.44	524288	0.05	0.00035	0.00065	0.00165	0.00225	0.009
15	1	11.72	32768	0.4	0.003	0.0053	0.013	0.018	0.07
16	1	11.72	65536	0.2	0.0013	0.0026	0.0067	0.009	0.035
17	1	11.72	131072	0.1	0.0007	0.0013	0.0033	0.0045	0.018
18	1	11.72	262144	0.05	0.00035	0.00065	0.00165	0.00225	0.009
19	1	11.72	524288	0.02	0.00013	0.00026	0.00067	0.0009	0.0035
20	8	23.44	4096	5.7	0.038	0.076	0.19	0.26	1.01
21	8	23.44	8192	2.9	0.02	0.04	0.1	0.13	0.51
22	8	23.44	16384	1.4	0.01	0.02	0.05	0.06	0.25
23	8	23.44	32768	0.7	0.005	0.009	0.023	0.031	0.124
24	8	23.44	65536	0.4	0.003	0.0053	0.013	0.018	0.07
25	8	15.625	4096	3.8	0.025	0.051	0.13	0.17	0.67
26	8	15.625	8192	1.9	0.013	0.025	0.063	0.085	0.34
27	8	15.625	16384	0.95	0.006	0.013	0.032	0.043	0.17
28	8	15.625	32678	0.48	0.0032	0.0064	0.016	0.021	0.085
29	8	15.625	65536	0.24	0.0016	0.0032	0.008	0.011	0.042

(1) 太阳相对LSR速度的视向分量 V_{sun}

设观测历元射电源的坐标为 (α, δ) , 太阳向量的坐标为 (R, D) , 则:

$$\vec{V} = 19.5 \times \begin{bmatrix} \cos D \cos R \\ \cos D \sin R \\ \sin D \end{bmatrix}, \text{ 而源方向的单位矢量为: } \vec{S} = \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix}, \text{ 所以 } V_{\text{sun}} =$$

$-\vec{V} \cdot \vec{S}$, 这里假设朝向射电源运动时速度为负.

(2) 地月质心相对太阳速度的视向分量 V_{EM}

如图2所示, S 为太阳, $ABCD$ 为地月质心轨道, E 为质心位置, $\vec{r}$ 为太阳到质心的向径, ω 为近日点日心黄经, f 为真近点角, 设 a 、 e 分别为轨道的半长轴与偏心率, n 为质心绕太阳的平均角速度, 则质心速度可分解为两项: 垂直于向径 $\vec{r}$ 的分量 $V_1 = \frac{na}{\sqrt{1-e^2}}$, 垂直于 AC 轴的分量 $V_2 = \frac{nae}{\sqrt{1-e^2}}$. 设观测历元射电源的黄道坐标为 (λ, β) , 则:

$$\begin{aligned} V_{\text{EM}} &= -V_1 \cos \beta [\cos(90^\circ + \omega + f - \lambda) + e \cos(\lambda - \omega - 90^\circ)] \\ &= V_1 \cos \beta [\sin(\omega + f - \lambda) + e \sin(\omega - \lambda)], \end{aligned}$$

其中 ω 、 f 和章动序列的基本角引数的关系为:

$$\omega = F + \Omega - D - l' - \pi, \quad (1)$$

$$f = f_M + (2e - 0.25e^3) \sin f_M + \left(\frac{5}{4}e^2 - \frac{1}{8}e^4 \right) \sin(2f_M) + \frac{13}{12}e^3 \sin(3f_M) + \dots, \quad (2)$$

式中 $f_M = l'$ 为平近点角.

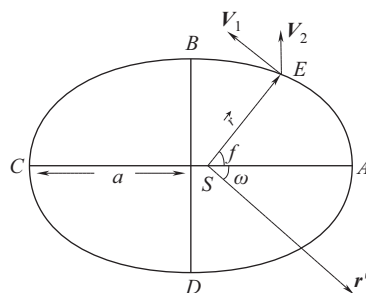


图2 地-月质心轨道示意图, S 为太阳, $ABCD$ 为地月质心轨道, E 为质心位置, $\vec{r}$ 为太阳到质心的向径, ω 为近日点日心黄经, f 为真近点角, a 为轨道的半长轴^[7].

Fig. 2 The sketch map of orbit for the centroid of the Earth-Moon system. S stands for the Sun. $ABCD$ stands for the orbit for the centroid of the Earth-Moon system. E is the position of the centroid. $\vec{r}$ is the radius vector between the Sun and the centroid of the Earth-Moon system. ω is the heliocentric ecliptic longitude of perihelion. f is the true anomaly. a is the semi-major axis of the orbit^[7].

(3) 地心相对地月质心速度的视向分量 V_E

其原理与计算 V_{EM} 完全类似, 因此只给出计算公式:

$$V_E = \frac{n'e'}{81.3\sqrt{1-e'^2}} \cos \beta' [\sin(\omega' + f' - \lambda') + e' \sin(\omega' - \lambda')],$$

式中各量含义如下(对月球轨道): e' 为轨道偏心率; n' 为月球平均角速度; a' 为轨道半长轴; ω' 为近地点平月黄经; f' 为真近点角; 81.3 为地月质量之比; (λ', β') 为源的白道坐标. ω' 、 f' 和章动序列的基本角引数的关系为: $\omega' = F - l$, $f'_M = l$, 真近点角 f' 与平近点角 f'_M 的关系见(2)式.

(4) 观测者相对地心速度的视向分量 V_{obs}

设观测者的测地纬度及海拔高度分别为 ϕ' 和 h , 将 ϕ' 转换成地心纬度 ϕ :

$$\phi = \phi' - a \sin(2\phi') + b \sin(4\phi') - c \sin(6\phi'),$$

式中 $a = 692.743''$, $b = 1.163''$, $c = 0.0026''$. 观测者的地心距离为:

$$R = A + B \cos 2\phi - C \cos 4\phi + h,$$

式中 $A = 6367489.8 \text{ m}$, $B = 10692.6 \text{ m}$, $C = 22.4 \text{ m}$. 设观测时刻的地方恒星时为 L , 则:

$$V_{\text{obs}} = -\omega R \cos \phi \cos \delta \sin(\alpha - L) = \omega R \cos \phi \cos \delta \sin(L - \alpha),$$

式中 $\omega = 7.292 \times 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 为地球自转角速度. 因此有:

$$V = V_{\text{sun}} + V_{\text{EM}} + V_{\text{E}} + V_{\text{obs}}.$$

以上算法未考虑行星对地球轨道的摄动及太阳相对太阳系质心的运动, 这给 V 带来约 $0.02 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的误差. 各速度分量对视向速度 V 的贡献见表3.

表 3 各速度分量对视向速度 V 的贡献
Table 3 Contribution to V from different velocity components

Velocity component	Velocity magnitude /($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)
Velocity of source relative to LSR (V_{LSR})	-
Velocity of the Sun relative to LSR (V_{sun})	20
Velocity of centroid of the Earth-Moon system relative to the Sun (V_{EM})	30
Velocity of the Earth relative to centroid of the Earth-Moon system (V_{E})	0.1
Velocity of the station relative to the Earth (V_{obs})	0.5
Planets perturbation of the Earth orbit	0.013

3.2 PCAL信号注入测试

在频谱仪的输入端输入单频PCAL信号, 在频谱仪的输出端, 将会观测到一系列尖峰组成的谱线. 测量尖峰半功率宽度, 就可以得到频谱仪的频谱特性. 南京大学郑兴武教授和紫金山天文台雷成明老师曾用这一方法对紫金山天文台13.7 m望远镜的声光频谱仪进行了仔细的频谱工作性能测定^[5].

3.2.1 谱的宽度

2014年8月, 我们用DIBAS模式24, 在积分时间内, 频谱仪的输入端连续输入不同的单频PCAL信号, 间隔为1 MHz, 观测频谱仪的响应. 模式24有8个窗口, 每个窗口带

宽23.44 MHz, 65 536个通道, 将会观测到23个尖峰组成的谱线. 图3(左)给出了其中一个窗口的频谱.

用高斯拟合的方法测量尖峰的半功率宽度, 就可以得到频谱仪的谱分辨率. 图3(右)给出一条典型尖峰谱高斯拟合曲线. 从图3(右)可以看出, 尖峰的半功率宽度为1个通道, 没有加宽, 也没有旁瓣. 也就是说, DIBAS谱分辨率与通道间隔相同, 谱分辨率的误差远远小于通道间隔. 整个接收系统中谱的形状是不变的.

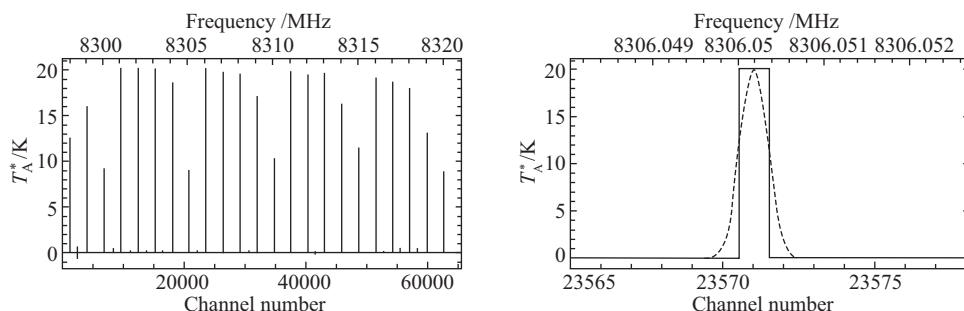


图3 左: DIBAS对PCAL信号的谱响应. 我们用DIBAS模式24, 在X波段的中频输入端输入频率间隔为1 MHz的PCAL信号. 本图给出了其中一个窗口的频谱. 右: 一条尖峰高斯拟合的曲线. 实线表示观测结果. 虚线表示高斯拟合曲线.

Fig. 3 Left: the response of DIBAS to a PCAL signal. We inject the PCAL signal with an interval of 1 MHz in X band under DIBAS mode 24. This figure gives a spectrum of one window. Right: Gaussian fitting for a spike in the spectrum. The solid line stands for the observed result, while the dashed line stands for the Gaussian fitting line.

3.2.2 频率漂移测试

为了测试频率漂移情况, 按照上述方法, 我们注入PCAL信号1 h, 观测频谱仪的响应. 观测分为PCAL ON和PCAL OFF两个状态, 每个状态持续1 min, 得到30个scan. 用高斯拟合的方法得到每个scan的谱线的第12条尖峰的中心位置. 图4(左)给出第12条尖峰线心位置随时间的漂移, 我们发现漂移集中在0附近. 1 h内, 最大变化幅度为0.03通道, 约合0.01 kHz, 对于一般谱测量来说, 这种漂移影响不大.

3.2.3 谱间隔的稳定性测试

为了测试谱之间间隔的稳定性, 我们用CLASS得到每一个scan得到的谱线的第5个和第20个尖峰之间的间隔数, 图4(右)给出了第5条尖峰与第20条尖峰之间间隔的漂移, 漂移仍然集中在0附近. 尖峰间隔随时间的最大起伏为0.05通道, 约为0.02 kHz. 尖峰间隔的漂移远小于通道宽度, 因此对于一般测量来说影响不大.

3.3 频率校准测试

3.3.1 H₂CO吸收线与射电复合线观测

2014年3月21日, 我们用TM65m望远镜在C波段对几个恒星形成区的H₂CO吸收线和氢复合线进行了观测, 谱线终端采用DIBAS的模式6, 采用位置切换观测模式, ON SOURCE与OFF SOURCE时间均为2 min. 图5(左)展示了IRAS00338的H₂CO吸收线的谱, 为了提高信噪比, 将速度分辨率平滑至0.36 km·s⁻¹, 峰值流量所在速度为-17.41(0.04) km·s⁻¹. Araya等^[8]用美国GBT望远镜对这个源的观测结果进行了比

较, 得到的峰值流量所在速度为 $-17.37 (0.01) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 与我们的峰值流量所在速度在误差范围内一致. 图5(右)展示了大质量恒星形成区NGC 7538的 H_2CO 脉泽与 H_2CO 吸收线的谱, 这一源中既有 H_2CO 脉泽又有 H_2CO 的吸收线, 脉泽与吸收线成分的峰值流量所在的速度分别为 $-60.06(0.02) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $-57.84(0.02) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $-55.63(0.31) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Araya等^[8]对NGC 7538的观测, 得到的脉泽与吸收线成分的峰值流量所在的速度分别为 $-60.12(0.01) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $-57.91 (0.01)$ 和 $-55.95(0.05) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. 脉泽成分速度之差分别为 $0.06 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.07 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 远小于速度分辨率. 吸收线成分所在的速度在误差范围内保持一致. 以上结果表明, 我们对数据所做的频率校准是正确的.

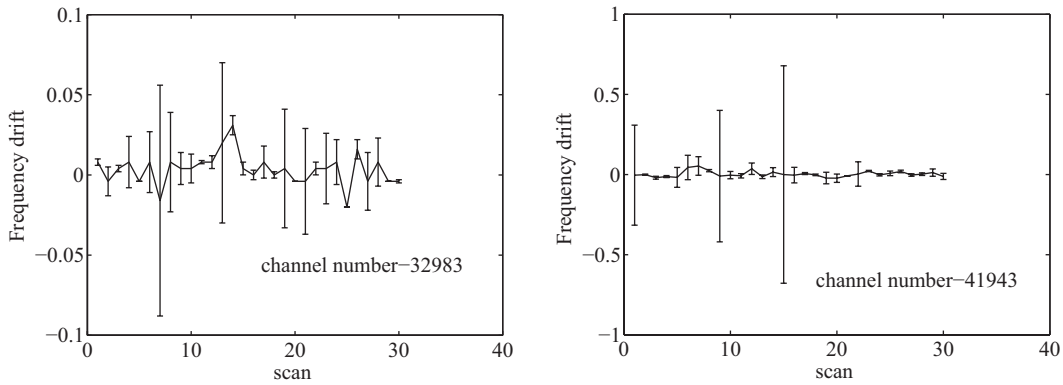


图 4 左: 1 h内第12条尖峰的频率漂移及其误差. 横轴为scan号, 纵轴为通道数减去32983的值. 右: 1 h内第5条尖峰与第20条尖峰之间间隔的漂移及其误差. 横轴为scan号, 纵轴为通道数减去41943的值.

Fig. 4 Left: frequency shift of the 12th spike within one hour. Horizontal axis gives the scan number, while vertical axis gives the value of channel number minus 32983. Right: frequency shift between the 5th and 20th spikes within one hour. Horizontal axis gives the scan number, while vertical axis gives the value of channel number minus 41943.

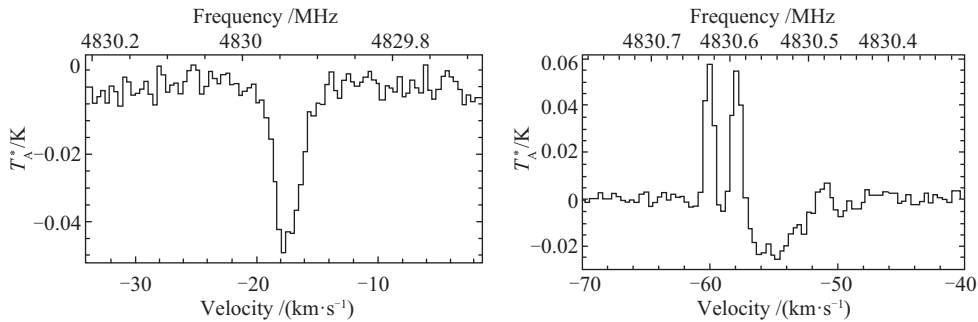


图 5 左: 2014年3月21日, 用DIBAS终端的模式6观测的IRAS00338的 H_2CO 吸收线的谱, ON SOURCE时间为2 min. 右: 2014年3月21日, 用DIBAS终端的模式6观测的NGC 7538的 H_2CO 脉泽和吸收线的谱, ON SOURCE时间为2 min.

Fig. 5 Left: We observed the H_2CO absorption line of IRAS00338 with DIBAS mode 6 on March 21, 2014. The ON SOURCE time is 2 min. Right: We observed the H_2CO maser and absorption line of NGC 7538 with DIBAS mode 6. The ON SOURCE time is 2 min.

3.3.2 OH脉泽观测

2014年4月17日, 我们用DIBAS谱线模式24对W3(OH)的羟基脉泽进行了1个多小时的观测, 速度分辨率 $0.06 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 共观测31个scan, 每个scan的ON SOURCE和OFF SOURCE时间均为1 min. 图6(左)展示了第1个scan(黑色)、最后1个scan(红色), 以及所有数据平均后的谱(蓝色), 可以看出, 3个谱的轮廓一致. 第1个scan、最后1个scan, 以及数据平均后, 峰值流量均在通道32175. 第1个scan与最后1个scan的幅度差为6%, 表明了天线增益的变化. 第1个scan的噪声(Root Mean Square, RMS)为0.026, 则31个scan平均后得到的RMS应该近似等于 $\frac{0.026}{\sqrt{31}} = 0.0046$. 实际对31个scan的数据进行积分, 得到谱线的RMS为0.006, 我们认为观测值与理论值是一致的.

2014年7月14日, 用DIBAS谱线模式6对W3(OH)的甲醇脉泽进行了观测, 速度分辨率 $0.13 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 每小时观测1个scan, 共6个scan, 见图6(右), 不同颜色代表不同scan的谱. 可以看出, 不同scan的谱线轮廓一致, 因此, 在观测的5个多小时内, 多普勒改正可靠、稳定的.

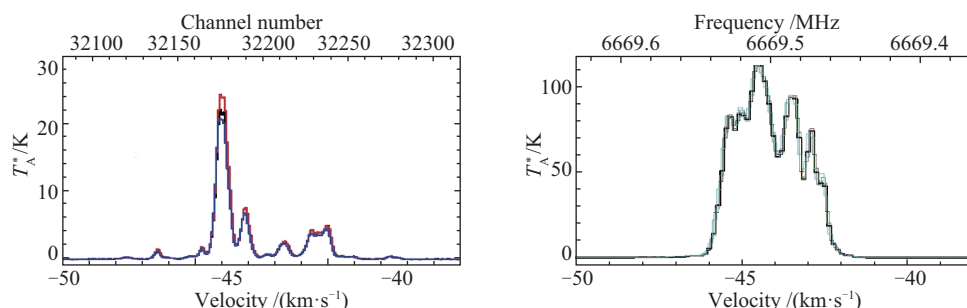


图 6 左: 2014年4月, 用DIBAS终端的模式24观测的W3(OH)的1 665 MHz羟基脉泽的谱, 共观测31个scan, 每个scan的ON SOURCE时间为1 min, 黑色、红色、蓝色的线分别表示第1个scan、最后1个scan的谱以及所有数据平均后的谱. 右: 2014年7月, 用DIBAS谱线模式6观测W3(OH)的6.7 GHz甲醇脉泽的谱, 每小时观测1个scan, 不同颜色代表不同scan的谱.

Fig. 6 Left: We observed the spectrum of 1665 MHz OH maser of W3(OH) with DIBAS mode 24 in April, 2014. We observed 31 scans in total, and the ON SOURCE time for each scan is 1 min. The black, red, and blue lines show the spectra of the first scan, the last scan, and the average scan, respectively. Right: We observed the spectrum of 6.7 GHz methanol maser of W3(OH) with DIBAS mode 6 in July, 2014. The time interval for different scan is one hour. The spectra of different scans are plotted in different colors.

4 结论

我们对上海天文台TM65m射电望远镜的DIBAS谱线终端进行了频率校准和测试工作, 结果发现它有良好的性能. 测试工作包括: (1)用PCAL信号测试频谱仪谱分辨率、频率漂移以及谱之间间隔的稳定性; (2)对2个恒星形成区进行了甲醛吸收线的观测; (3)长时间观测W3(OH)的羟基脉泽和甲醇脉泽发射.

结果表明: (1) DIBAS谱线终端的谱分辨率与通道间隔一致, 1 h内单个尖峰频率漂移的最大变化幅度为0.03通道, 尖峰之间间隔的最大起伏为0.05通道, 均远小于通道宽度, 对一般观测影响不大, 从侧面也表明了PCAL仪器频率输出是稳定的; (2)频率校准后, 峰值流量所在速度与以往观测结果在误差范围内保持一致; (3)频率校准后, 脉泽谱

形在数小时内保持稳定, 峰值流量落在同一个通道内, 观测噪声与理论噪声一致. 下一步我们将进行强度校准的工作, 使得TM65m望远镜可开展谱线天文观测工作.

致谢 衷心感谢南京大学郑兴武教授在TM65m望远镜频率校准过程中为我们提供的无私帮助以及论文写作过程中的悉心指导. 感谢紫金山天文台青海站孙继先老师、新疆天文台加尔肯研究员对本工作的支持和热心帮助.

参考文献

- [1] 王锦清, 虞林峰, 赵融冰, 等. 天文学报, 2015, 56: 63
- [2] Wang J Q, Yu L F, Zhao R B, et al. ChA&A, 2015, 39: 394
- [3] 虞林峰, 王锦清, 赵融冰, 等. 天文学报, 2015, 56: 165
- [4] Yu L F, Wang J Q, Zhao R B, et al. ChA&A, 2015, 39: 524
- [5] 郑兴武, 雷成明. 天文学报, 1997, 38: 446
- [6] Rohlfs K, Wilson T L. 射电天文工具. 姜碧汾, 译. 北京: 北京师范大学出版社, 2008: 11
- [7] 李纲. 天体脉泽源的VLBI观测方法. 上海: 中国科学院上海天文台, 1986
- [8] Araya E, Hofner P, Goss W M, et al. ApJ, 2007, 170: 152

Frequency Calibration of Molecular Line Observing System of the TM65m Radio Telescope

LI Juan^{1,2} WU Ya-jun^{1,2} QIAO Hai-hua^{1,2,3} WANG Jun-zhi^{1,2} ZUO Xiu-ting^{1,2}

(1 Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

(2 Key Laboratory of Radio Astronomy, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

(3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

ABSTRACT In order to carry out molecular line observations with the TM65m radio telescope, we carry out the frequency calibration and test observations of DIBAS (Digital Backend System), which is the spectrometer of the telescope. First, we test the performance of DIBAS with PCAL signals. We find that the spectral resolution is equal to the channel width, and the inaccuracy of spectral resolution is much lower than the channel width. Second, we observed H₂CO lines toward two sources. The centroid velocity of calibrated data is consistent with GBT (Robert C. Byrd Green Bank Telescope) observations. At last, we observed 1665 MHz OH maser lines toward W3(OH) for one hour. The line shapes keep stable, and the RMS (Root Mean Squares) noise levels are consistent with theoretical values. We also observed 6.7 GHz methanol masers toward W3(OH) for several scans with a separation of about one hour. The line shapes of each scans are well consistent with each other.

Key words techniques: spectroscopic, line: identification, radio lines: ISM, ISM: molecules