

甘肃金塔地区大气对太阳射电辐射吸收的 测量研究*

刘 炎^{1,2} 李 东^{1,2,3} 宋其武^{1,2} 孟 璇^{1,2} 许富英^{1,2}
吴洪敖^{1,2} 宁宗军^{1,2†}

(1 中国科学院暗物质和空间天文重点实验室 南京 210008)

(2 中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

(3 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 2008 年 8 月 1 日, 在我国西北的新疆、内蒙、甘肃等地区可以观测到一次日全食的天象, 紫金山天文台太阳射电团组在甘肃省金塔用两架太阳射电望远镜对这次日全食进行了观测, 并成功地取得了观测资料. 为了科学分析观测资料, 在日全食的前两天, 实测了当地的大气吸收. 着重分析这些观测数据, 结合太阳射电方法, 测得在 $\lambda=2.4$ cm 和 $\lambda=8.6$ mm 波段上, 当地天顶方向的大气吸收因子 Γ_0 分别为 0.012 Nb 和 0.068 Nb. 这完全符合以前大气吸收的测量结果. 利用所得到的大气吸收因子, 对这两个波段的食变曲线作了相应的修正. 其结果显示, 原始的食变曲线被大幅度更正, 更靠近无吸收的实测结果. 但是要对比食变曲线作进一步的修正, 还需要分析诸如地面辐射、天空背景辐射、月亮辐射、仪器增益漂移等其它因素的影响.

关键词 食, 太阳, 射电辐射, 大气效应

中图分类号: P 182; **文献标识码:** A

1 引言

2008 年 8 月 1 日, 在我国西北的新疆、内蒙、甘肃等地区有一次日全食天象. 由中国科学院组织的科学团队, 包括光学、射电、小行星以及地磁等科研小组, 于 2008 年 1 月开始研制观测设备等各项科学观测准备工作. 紫金山天文台太阳射电团组承担了这次日全食的高频射电观测项目. 我们的观测点布设在甘肃省金塔县的金鼎湖畔观测营地, 该地的地理位置的经度: $E98^{\circ}53'20''$, 纬度: $N39^{\circ}56'15''$, 海拔高度: 1 288 m. 当地日全食的见食情况如下所示.

2010-12-22 收到原稿, 2011-06-07 收到修改稿

* 国家自然科学基金项目 (10843005, 10833007 和 10973042) 和科技部 973 项目 (2011CB811400) 资助

† ningzongjun@pmo.ac.cn

见食情况	时刻	切点方位角	太阳地平高度
初亏	18 ^h 16 ^m 36.5 ^s	298.73°	25.4°
食既	19 ^h 13 ^m 41.5 ^s	144.88°	14.5°
食甚	19 ^h 14 ^m 31.8 ^s		14.4°
生光	19 ^h 15 ^m 21.9 ^s	269.46°	14.2°
复圆	20 ^h 08 ^m 24.1 ^s	115.74°	4.4°

我们太阳射电团组于 2008 年 7 月 20 日到达现场, 并开始安装和调试望远镜. 7 月 26 日开始试观测, 8 月 1 日我们成功观测到这次日全食的整个过程. 7 月 30 日和 31 日, 我们对当地大气吸收进行实测. 本文是利用这两天的测量资料, 来研究当地大气对太阳射电辐射, 特别是在 2.4 cm 和 8.6 mm 上的吸收因子. 这是科学分析日全食变曲线的基础, 因为利用这些吸收因子可以修正观测到的食变曲线, 使其更接近日全食时太阳辐射的真实曲线.

2 仪器设备

表 1 列出这次日全食观测所用的两架太阳射电望远镜的主要参数. 它们的工作频率分别是 12.4 GHz 和 35 GHz, 工作带宽都是 500 MHz, 天线口径分别是 1.2 m 和 0.6 m. 这两架望远镜均为太阳总强度型, 用于测量太阳射电辐射的总流量及其随时间的变化. 望远镜硬件包括抛物面天线、赤道式天线座架、赤经电控系统、微波系统、接收机系统和终端的计算机记录系统共 6 个系统. 系统的基本情况有以下 5 个特征: (1) 接收机采用带有高频放大器的狄克式超外差系统, 其灵敏度高, 稳定性好. (2) 对射电辐射强度的定标, 配置有内部的噪声源定标系统和外部的微波黑体定标源系统, 记录读数可直接显示为太阳有效天线温度. (3) 天线座架为赤道式结构, 其赤经运行配置有电控系统, 用步进电机驱动, 控制信号由石英钟提供, 用于在太阳观测时进行自动跟踪运行. 赤纬方向的调整因变动甚小而采用手控. 望远镜的极轴的方位和仰角均为可调. (4) 配置有小口径光学望远镜的导星镜, 其后端附加有 CCD 摄像头, 从而可在显示屏上方便地进行光学导星. (5) 计算机记录系统具有数据采集、处理、实时显示和存储等功能. 图 1 是射电望远镜工作原理的框图, 其中的英文符号如下, RF&IF 是高频和中频部分, SD 是同步检波器, V_{DC} 是直流路输出电压, MNS 是方波调制噪声源, K_{DC} 是直流路增益, V_{AC} 是交流路输出电压, C 是定向耦合器, K_{AC} 是交流路增益, T_A 是天线温度, T_R 是接收机噪声信号温度, $T_{\Delta T}$ 是噪声源注入分量.

表 1 射电望远镜的主要参数

Table 1 Main parameters of radio telescopes

No.	Wavelength (cm)	Frequency (GHz)	Diameter (m)	Halfwidth	Bandwidth (MHz)	Timescale (s)	Sensitivity (K)
1	2.4	12.4	1.2	1°38'	500	1	0.05
2	0.86	35	0.6	1°	500	1	0.05

图 1 指出望远镜的基本工作原理是固态噪声源用方波电压供电, 对噪声源进行周期

性的“点燃”和“熄灭”. 其噪声信号经过定向耦合器注入辐射计输入端. 噪音源点灭产生接收机噪声温度的周期性跳变, 折算到天线馈源口面的温度变化量为 ΔT .

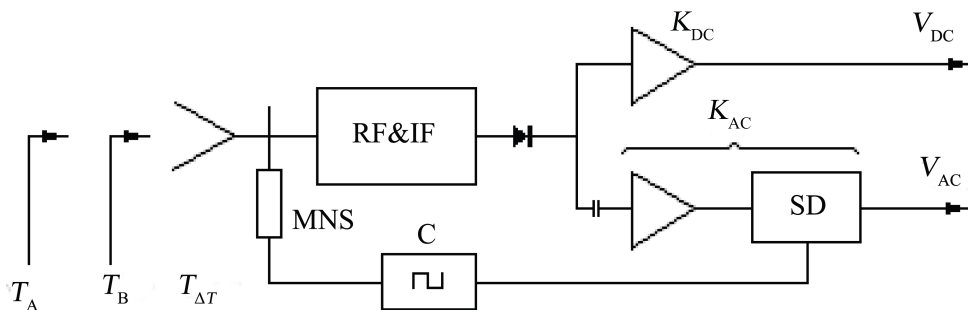


图 1 射电望远镜工作原理的框图

Fig.1 Diagram of solar radio telescopes

3 日全食观测

2008年8月1日当地时间17:00~20:30, 这两架太阳射电望远镜始终指向太阳, 跟踪观测, 并成功观测到日全食的全过程, 如图2和图3的细实线所示的原始食变曲线. 由图中可见, 曲线的升降变化平滑, 这也表明望远镜整个系统的工作状态是十分稳定的. 国家天文台的太阳射电频谱也成功观测到这次日全食全过程^[1].

为了能对食变记录曲线的资料进行分析处理, 首先必须对影响观测资料的各种因素进行分析研究, 有些甚至还需进行实测, 其中大气吸收的影响就是必须考虑到的一个重要因素. 如前面所述, 我们在7月30日和31日对 $\lambda=2.4\text{ cm}$ 和 $\lambda=8.6\text{ mm}$ 这两个波长上的大气吸收因子进行了实测.

4 金塔地区大气吸收因子的测量及其结果

设太阳在大气层外的射电辐射强度为 W_0 , 而地面射电望远镜接收到的射电辐射强度为 W , 当天顶距 $z < 80^\circ$ 时, 地球大气的分布可近似认为是平面平行分层的, 则有:

$$W = W_0 \exp[-\Gamma(z)] = W_0 \exp[-\Gamma_0 \sec z], \quad (1)$$

式中 $\Gamma(z)$ 就是大气吸收因子, 而 Γ_0 则是天顶方向的大气吸收因子. 对 (1) 式两边取对数:

$$\ln W = \ln W_0 - \Gamma_0 \sec z. \quad (2)$$

当太阳在不同天顶距 z 方向时, 用射电望远镜观测太阳的净辐射 (扣除太阳方向的天空背景辐射) T_{\odot} , 然后作 $\ln T_{\odot} - \sec z$ 图, 其线性拟合直线的斜率就是天顶方向的大气吸收因子 Γ_0 ^[2-3].

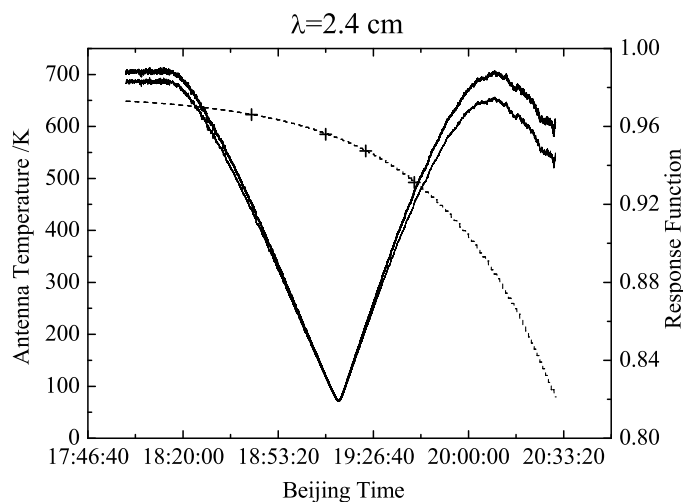


图 2 2008 年 8 月 1 日 $\lambda=2.4$ cm 波段初始的 (细实线) 和修正的 (粗实线) 食变记录曲线. 虚线是大气吸收的时间变化曲线, 其中 “+” 是 2008 年 7 月 31 日的观测点

Fig.2 Original (thin solid line) and corrected (thick solid line) recorded light curves of total solar eclipse at $\lambda=2.4$ cm on 2008 August 1. The dashed line is the absorption from the atmosphere, and pluses mark the observations on 2008 July 31 at $\lambda=2.4$ cm

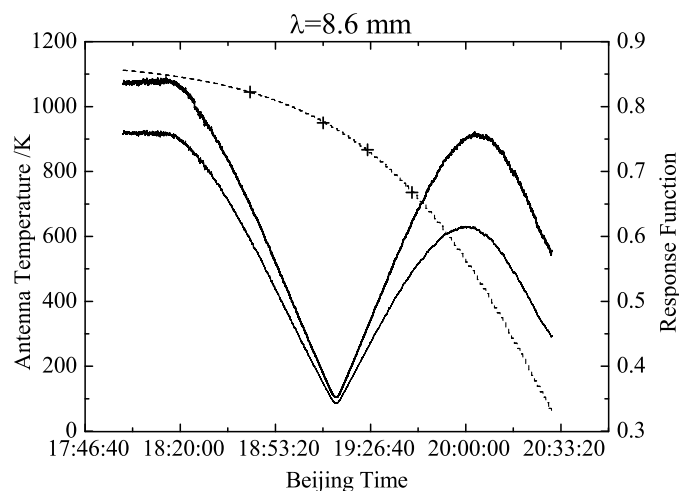


图 3 2008 年 8 月 1 日 $\lambda=8.6$ mm 波段初始的 (细实线) 和修正的 (粗实线) 食变记录曲线. 虚线是大气吸收的时间变化曲线, 其中 “+” 是 2008 年 7 月 31 日的观测点

Fig.3 Original (thin solid line) and corrected (thick solid line) recorded light curves of total solar eclipse at $\lambda=8.6$ mm on 2008 August 1. The dashed line is the absorption from the atmosphere, and pluses mark the observations on 2008 July 31 at $\lambda=8.6$ mm

我们在 7 月 30 日和 31 日这两天的下午, 在 $\lambda=2.4$ cm 和 $\lambda=8.6$ mm 两个波段上都进行了观测. 实际观测时, 当太阳在各个不同天顶距 z 的方向时, 分别把天线对向太阳方向和太阳近旁的天空背景方向, 记录下相应的天线温度读数 $T_{\odot+\Phi}$ 和 T_{Φ} , 于是相应于太阳净辐射 T_{\odot} 的读数就是:

$$T_{\odot} = T_{\odot+\Phi} - T_{\Phi}. \quad (3)$$

观测时, 同时记录下相应于对太阳方向读数 $T_{\odot+\Phi}$ 的时刻 t , 此时太阳的天顶距 z 就可根据《天文年历》由计算得到. 4 组测量的数据分别见表 2~5.

表 2 2008 年 7 月 30 日 $\lambda=2.4$ cm 波段的大气吸收测量

Table 2 Measurement of local atmospheric absorption at $\lambda=2.4$ cm on 2008 July 30

No.	t	z	$T_{\odot+\Phi}$ (K)	T_{Φ} (K)	T_{\odot} (K)	$\sec z$	$\ln T_{\odot}$ (K)	Weather
1	14:34	35°28'	630	41.6	588.4	1.108	6.377	cloudy
2	18:44	69°28'	614	48	566	2.851	6.339	cloudy
3	19:10	74°23'	596	48	548	3.714	6.306	cloudy
4	19:26	77°22'	582	50.5	531.5	4.573	6.276	cloudy

表 3 2008 年 7 月 31 日 $\lambda=2.4$ cm 波段的大气吸收测量

Table 3 Same caption as Table 2, but on 2008 July 31

No.	t	z	$T_{\odot+\Phi}$ (K)	T_{Φ} (K)	T_{\odot} (K)	$\sec z$	$\ln T_{\odot}$ (K)	Weather
1	18:44	69°38'	650	33.5	616.5	2.873	6.424	sunny
2	19:10	74°32'	645	35.1	609.9	3.749	6.413	sunny
3	19:24	77°09'	644	36.9	607.1	4.496	6.409	sunny
4	19:41	80°01'	640	39.9	600.1	5.935	6.397	sunny

表 4 2008 年 7 月 30 日 $\lambda=8.6$ mm 波段的大气吸收测量

Table 4 Same caption as Table 2, but at $\lambda=8.6$ mm on 2008 July 30

No.	t	z	$T_{\odot+\Phi}$ (K)	T_{Φ} (K)	T_{\odot} (K)	$\sec z$	$\ln T_{\odot}$ (K)	Weather
1	14:34	35°28'	946	52	894	1.108	6.796	cloudy
2	16:26	43°17'	945	55.5	889.5	1.374	6.791	cloudy
3	17:50	59°09'	904	53	851	1.950	6.746	cloudy
4	18:44	69°28'	845	68	777	2.851	6.655	cloudy
5	19:11	74°34'	831	75.6	755.4	3.759	6.627	cloudy
6	19:26	77°22'	785	83.5	701.5	4.573	6.553	cloudy
7	19:43	80°30'	732	99.5	632.5	6.059	6.450	cloudy

表 5 2008 年 7 月 31 日 $\lambda=8.6$ mm 波段的大气吸收测量

Table 5 Same caption as Table 2, but at $\lambda=8.6$ mm on 2008 July 31

No.	t	z	$T_{\odot+\Phi}$ (K)	T_{Φ} (K)	T_{\odot} (K)	$\sec z$	$\ln T_{\odot}$ (K)	Weather
1	16:10	40°33'	945	61.9	883.1	1.306	6.783	sunny
2	16:57	49°13'	940	61.9	878.1	1.531	6.778	sunny
3	17:49	59°07'	920	66.4	853.6	1.948	6.749	sunny
4	18:44	69°38'	880	75.4	804.6	2.873	6.690	sunny
5	19:10	74°32'	840	83.5	756.5	3.749	6.629	sunny
6	19:25	77°20'	800	91.4	708.6	4.559	6.563	sunny
7	19:41	80°18'	760	104.3	655.7	5.935	6.486	sunny

根据表 2~5 的观测数据, 分别作出 $\ln T_{\odot} - \sec z$ 图, 见图 4、图 5. 再进行线性拟合, 求出各分布图的斜率, 也就是相应的大气吸收因子 Γ_0 的值了, 表 6 则是我们的计算结果.

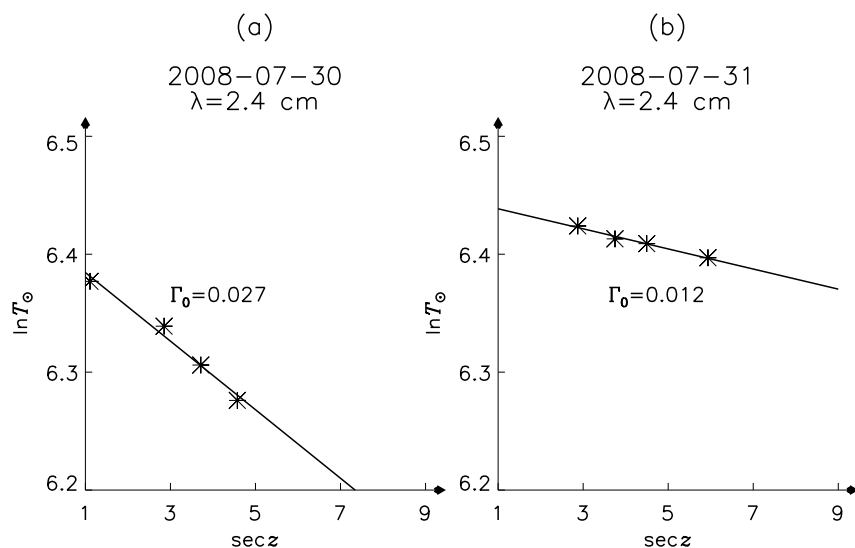


图 4 2008 年 7 月 30 日 (a) 和 31 日 (b) $\lambda=2.4$ cm 波段的大气吸收因子测量结果

Fig. 4 Measured results of atmospheric absorption factors at $\lambda=2.4$ cm on 2008 July 30 (a) and 31 (b)

表 6 天顶方向大气吸收因子的测量值

Table 6 Measured values of atmospheric absorption factors along zenith direction

No.	Date	Γ_0 (Nb)		Altitude (m)	Weather
		$\lambda=2.4$ cm	$\lambda=8.6$ mm		
1	2008-07-30	0.027	0.072	1288	cloudy
2	2008-07-31	0.012	0.068	1288	sunny

5 讨论

(1) 由表 6 可以看出, 对于两个波段的 Γ_0 , 7 月 30 日的测量值都要比 7 月 31 日的高一些, 其原因很可能是由于 7 月 30 日下午正是雨后不久的多云天气, 大气中水汽稍多, 增加了大气吸收.

(2) 我们查阅了以往若干有关射电大气吸收的实测资料, 把它们汇集在以下的表 7 中, 从表中也可以看出, 我们的测量结果符合以前的观测结论.

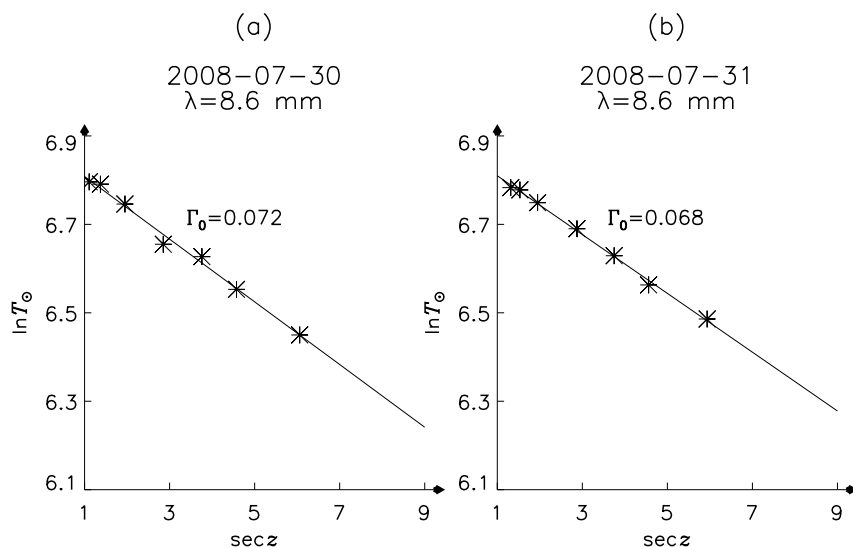
图 5 2008 年 7 月 30 日 (a) 和 31 日 (b) $\lambda=8.6$ mm 波段的大气吸收测量Fig. 5 Same caption as Fig. 4, but at $\lambda=8.6$ mm on 2008 July 30 (a) and 31 (b)

表 7 大气吸收因子的若干测量值比较

Table 7 Lists of atmospheric absorption factors from various observations

No.	Date	Γ_0 (Nb)				Location	Altitude (m)	Reference
		$\lambda=2.56$ cm	$\lambda=2.4$ cm	$\lambda=3.2$ cm	$\lambda=8.6$ mm			
1	2008-07-30			0.027	0.072	Jingta Gansu	1288	
2	2008-07-31			0.012	0.068	Jingta Gansu	1288	
3	1997-03-09				0.0402	Mohe Heilongjiang	50	[4]
4	1987-09-23	0.011				Wuhan Hubei	83	[5]
5	1987-09-23				0.0644	Nanjing Jiangsu	247	[6]
6	1980-02-16				0.0548	Ruili Yunnan	1800	[7]
7	1968-09-22			0.0088	0.0402	Kashi Xinjiang	2000	[8-10]

(3) 本次日全食射电观测的科学目标是研究日面上可能的射电局部源的分布, 并和相应的光学观测作对比. 我们观测所得的射电食变曲线的初始数据还不能直接使用, 必须首先扣除天空背景大气吸收效应的影响. 我们根据所测得的大气吸收因子值, 对初始记录的食变曲线作了改正, 得到修正的食变曲线, 见图 2 和图 3 中的粗实线. 但是影响食变曲线的因素还有其它多种, 如地面背景辐射、天空背景辐射、月亮辐射、仪器增益漂移等. 而在 2008 年 8 月 1 日日全食时太阳的地平高度已很低, 地面背景辐射的影响特别严重, 以致 8.6 mm 波段的流量食变曲线在复圆后还继续下降, 这就大大增加了进一步进行分析研究的难度. 此外, 2008 年太阳还处于极其宁静的时期, 日面的活动极弱, 因此在食变曲线上更是难以分离出射电局部源的影响. 分析研究这些因素对食变曲线的影响是未来工作的主要方向.

参 考 文 献

- [1] Tan B L, Yan Y H, Zhang Y, et al. ScChG, 2009, 52: 1765
- [2] 王绥璋, 吴盛殷, 崔振兴, 等. 射电天文方法. 北京: 科学出版社, 1988: 189
- [3] 黄佑然, 许敖敖, 唐玉华, 等. 实测天体物理学. 北京: 科学出版社, 1987: 499
- [4] 吴洪敖, 周树荣, 查德元, 等. 1997年3月9日8.6 mm波段射电日全食观测 // 日全食与近地环境 - 1997年3月9日日全食观测文集. 北京: 科学出版社, 1999: 63-67
- [5] 李焕矩, 曾文, 张长清, 等. 2.56 cm波长的日偏食射电观测 // 1987年9月23日中国日环食观测研究文集. 北京: 科学出版社, 1990: 66-71
- [6] 孙九祯, 徐之材, 杨桂攀, 等. 紫金山天文台8.6 mm波段射电日食观测 // 1987年9月23日中国日环食观测研究文集. 北京: 科学出版社, 1990: 47-51
- [7] 周树荣, 杨桂攀, 刘炎, 等. 8.6 mm波段日全食观测 // 1980年2月16日中国云南日全食观测文集. 北京: 科学出版社, 1983: 94-102
- [8] 中国科学院紫金山天文台日食观测小组. 天文学报, 1974, 15: 123
- [9] 中国科学院北京天文台日食观测小组. 天文学报, 1975, 16: 189
- [10] 中国科学院北京天文台日食观测小组, 南京大学日食观测小组. 天文学报, 1975, 16: 200

Measurements of Local Atmospheric Absorption on the Solar Radio Emission at Jingta Region of Gansu

LIU Yan^{1,2} LI Dong^{1,2,3} SONG Qi-wu^{1,2} MENG Xuan^{1,2} XU Fu-ying^{1,2}

WU Hong-ao^{1,2} NING Zong-jun^{1,2}

(1 Key Laboratory of Dark Matter and Space Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

(2 Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

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

ABSTRACT A total solar eclipse was observed successfully by solar radio telescopes at wavelengths of 2.4 cm and 8.6 mm in Jingta, Gansu province on 2008 August 1. Before the eclipse, the local atmospheric absorption was measured at these two wavelengths. Consistent with the previous findings, we obtained that the local absorption factors along the zenith direction are 0.012 Nb and 0.068 Nb, respectively. Using these values, the light curves of total solar eclipse are corrected by the atmospheric absorption at $\lambda=2.4$ cm and $\lambda=8.6$ mm. However, the results show that these light curves still need to be corrected by other factors, especially the strong absorption from the ground, before the further scientific study.

Key words eclipses, sun: radio radiation, atmospheric effects