

12GHz 电波的强度闪烁观测和结果分析

余少华 姚博文 李焕矩

(武汉大学空间物理系, 武昌)

摘要 本文利用自行研制的数据采集和处理系统发展了一种以跟踪太阳的方式研究低仰角晴空大气湍流引起的12GHz电波强度闪烁的方法, 克服了对卫星信标的依赖性。从1989年1月至4月进行了观测, 得出了一些有价值的统计结果。

关键词 电波强度闪烁; 低仰角观测; 晴空大气湍流

1. 引言

当对流层中存在湍流不均匀性或不规则结构时, 通过该路径传播的微波信号会发生幅度和相位的随机快衰落, 这种现象称为闪烁。目前国外在中高纬地区对闪烁问题已有一些研究(见文献[1—3]), 但在10GHz以上几乎没有低纬或热带地区的闪烁数据。我们对中低纬(30.5°N)的观测具有较大意义。一般采用卫星信标作源来观测对流层闪烁。由于条件所限, 本文发展了一种以跟踪太阳的方式观测低仰角晴空大气湍流引起的12GHz电波强度闪烁的方法。

2. 实验说明

我们自制的微机数据采集和处理系统经过半年的试用, 各项指标均能满足日常观测要求, 可靠性和可行性良好, 全部工作见文献[4—6]。从1989年1月初正式进行实验观测, 每天下午从16:00直至太阳落山。接收机的稳定性为8h小于1K, 所以可以假定在每天的观测中整机增益不变。在太阳活动宁静日, 假定所选用的一分钟数据对应的12GHz辐射能量不变, 即使有变化, 也认为它比由大气湍流引起的变化小得多, 从而可忽略。这个假定的合理性如下: 首先在一分钟内太阳12GHz辐射有大的快变的可能性是很小的, 除非在爆发的日子。即使有爆发存在也只会给整个一分钟数据的分布趋势带来一点倾斜, 这对闪烁这种快衰落现象没有影响。再者, 在不同的每一分钟里的数据对应的辐射可能有差别, 但这只是对均值或慢变的影响。此外, 太阳辐射的变化掺杂在我们的记录里属个别事件, 对统计结果影响不大。这样, 接收的一分钟数据可看成是平稳的, 加上功率有限, 所以满足功率谱估计的基本条件。图1为仰角分别在16°、12°、8°、4°接收机输出电平, 即12GHz电波的强度(由微机采样)的典型例子。从图可看出: 在16°时几乎没有闪烁, 而在8°和4°时快衰落很明显。为了避免经典谱估计的缺陷, 我们采用最大熵谱法。图2给出了一段以2Hz频率采样的128点数据的功率谱估计曲线; 横坐标 $\lg(f)$ 表示对Fourier频率取对数, 纵坐标表示信号功率分布的相对值, S 表示接收电平的强度起伏方差, 谱指数表示谱分布高端随频率增高而递减的斜率。图中标明的是0.2—0.6

Hz 的谱指数为 2.94.

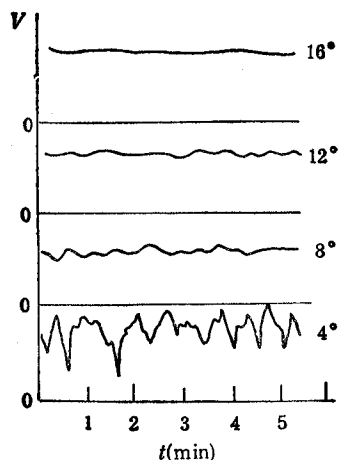


图 1

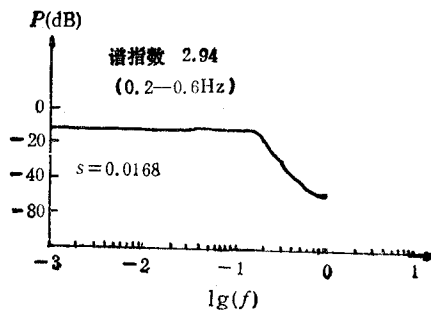


图 2

根据天文年历中提供的太阳视赤径和时角数表,利用贝塞尔内插公式,我们在微机中编了一套程序,只要输入起始时间、终止时间和步长,立即就可以打印出什么时间太阳在什么仰角位置的表格。该值与实地测量的经纬仪指示相比可精确到秒的量级。自动跟踪系统能准确地跟踪太阳的位置。采样值与时钟有一一对应关系。这样可随时知道所需的仰角对应的是哪一段记录数据。

3. 统计结果和讨论

本文对 1989 年 1 月初至 4 月底的数据作了统计分析和处理,得出以下结果:

(1) 低仰角晴空大气湍流引起的 12GHz 电波强度闪烁并不一定在每天日落前都可以观测到,起伏有时大有时小。在雨后(晴天)第二天、第三天出现明显闪烁的可能性较大,在出现闪烁的日子中有一半属于这种情况。这可能与雨后第二、三天形成的“不均匀层结构”有关。一般而言,对流层在中午前后混合较好,早晚较差,而观测正属早晚范围。与此同时随着仰角降低,电波的有效传播距离将增大。此外,雨后地面湿度大,太阳的不均匀加热使空气的对流运动更显著,经过两、三天后将传到摩擦层(从地面到 2km 的高度范围)或摩擦层以上,并影响到低仰角的传播路径,使在该路径上形成不均匀结构和湍流的可能性增大。

(2) 平时在仰角高于 16° 时,闪烁现象不明显。这可能同接收机灵敏度不高有关。(按国外有关文献介绍,在此条件下闪烁有可能出现。)通过平时高仰角的反复试验性观测,没有一次发现有明显闪烁(在晴天)。这个事实说明,本文用太阳 12GHz 射电作强度标准源观测对流层闪烁的方法比较可靠。

(3) 4 个月的统计结果表明,仰角越低,闪烁越明显(见图 3),但仰角低于 4° 以后起伏反而减弱了。这个特点在雨后第二、三天出现闪烁时尤其明显。

(4) 以 2Hz 频率采样,用最大熵谱法进行一分钟数据的谱估计。从统计结果看,仰角越低,谱指数略有增加,如图 4 所示。总的来说,谱指数等于“3”左右的情况较多。而在点天线情况下,振幅起伏谱高端渐近式(见文献[7])给出谱指数的典型值是“ $-8/3$ ”。这

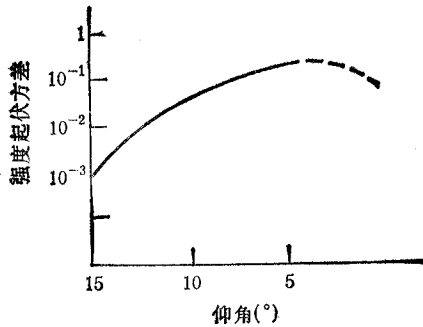


图 3

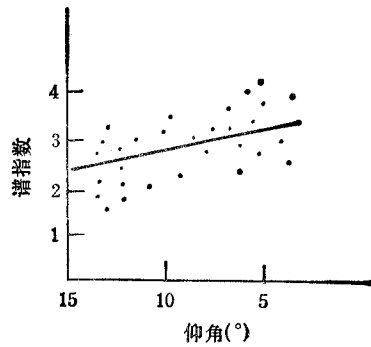


图 4

说明天线(本实验天线口径为 5m, 半功率波束宽度为 $19'21''$)确有平滑效应, 同时强度起伏谱与信号的振幅起伏谱确有差别。与文献[8]的结果对比分析, 似乎可以认为, 天线有效孔径对电波的振幅起伏的压缩要比同样天线对电波的强度起伏的压缩利害一些。

(5) 谱估计所得转折点频率 f_t (理论值 $f_t = 1.43f_0$, $f_0 = v \cdot \sqrt{k/L} / (2\pi)$, v 是横向风速, k 是波数, L 是有效传播距离)一般范围在 0.1—1Hz。对于起伏大的数据段, 相应的 f_t 也大些。因为在传播路径上, 横向不均匀性越强, 横向风速就可能越大。不均匀性增强使电波闪烁更显著, 而横向风速大对应的 f_t 就大。

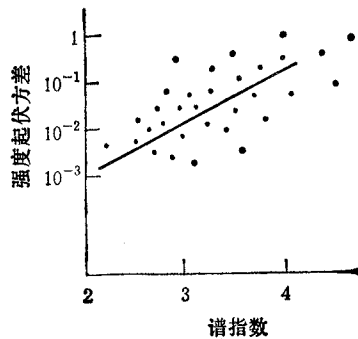


图 5

(6) 谱指数较大的数据段, 起伏方差也大(见图 5), 相应的谱曲线所占的面积也大些。这后一点可由下面看出, 对平稳随机过程, 电波的振幅起伏的时间相关函数和频谱的关系为

$$B_x(\tau) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_x(\Omega) e^{i\Omega\tau} d\Omega$$

对弱起伏情况, 起伏方差 σ_x^2 可表示如下:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{4} \sigma^2 = B_x(0) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_x(\Omega) d\Omega$$

其中 $\int_{-\infty}^{\infty} W_x(\Omega) d\Omega$ 表示谱分布曲线与坐标轴所围的面积, σ^2 表示归一化强度起伏方差。

(7) 在本文的统计分析中, 大约有 30% 的谱估计高端出现折断现象, 有时甚至凹凸

不平。这可能是低仰角路径上多处不同尺度的湍流引起的多重散射效应增强所致。对它的深入研究,理论上属强起伏随机介质的波传播问题。

4. 结束语

用太阳作源,能进行多路径观测,设备简单,费用低,可推广使用。关于闪烁的研究,理论上应进一步深入,实验上应强调在低纬观测,实用上应加强建立统计预报模式,应用上可开发大气、气象参数的遥感。

参 考 文 献

- [1] P. S. L. Lo, et al., *Electron. Lett.*, **20** (1984), 307—308.
- [2] R. V. Webber, et al., *Ann. Telecommun.*, **35** (1980) 11—12, 494—500.
- [3] J. I. Strickland, et al., *Ann Telecommun.*, **32** (1977) 11—12, 530—535.
- [4] 余少华, 12GHz 对流层闪烁特性, 武汉大学硕士论文, 1989 年.
- [5] 余少华, 姚博文, 电脑与微电子技术, 1988 年, 第 4 期, 第 42—43 页.
- [6] 余少华, 电子与电脑, 1990 年, 第 9 期, 第 4—5 页.
- [7] A. 石丸著, 黄润恒, 周诗健译, 随机介质中波的传播和散射, 科学出版社, 1986 年.
- [8] J. Haddon, E. Vilar, *IEEE Trans. on AP*, **AP-34** (1986) 5, 646—657.

OBSERVATION AND ANALYSIS OF 12GHz ELECTRIC-WAVE INTENSITY SCINTILLATION AT LOW ELEVATION ANGLE

Yu Shaohua Yao Bowen Li Huanju

(Wuhan University, Wuchang)

Abstract On the basis of authors' developed data sampling and processing system, the 12GHz intensity scintillation of clear air turbulence has been observed and analysed at low elevation angle by tracing the sun. The experimental results are given and discussed. The conclusions are obtained as follows: (1) Between 16° and 4° , the lower the elevation angle, the larger the scintillation intensity in clear air will be. Scintillation is most probably to appear two or three days after rain. (2) The frequency at flecion point (f_e) appears, in general, between 0.1Hz and 1Hz.

Key words Electric-wave intensity scintillation; Observation at low elevation angle; Clear air turbulence