新乡上空 Es 层不均匀体的闪烁特性

龙 其 利
(中国电波传播研究所,新乡 453003)

摘 要

本文介绍新乡 1989 和 1990 年夏季 Es 层不均匀体引起的 ETS-II 卫星 136MHz 信号幅度闪烁的观测结果. 揭示了闪烁出现与 f_0Es 的关系、闪烁强度和持续时间的概率分布、准周期性闪烁特点以及闪烁谱特征. 导出了 Es 层不均匀体的尺度和漂移速度等物理特性.

关键词 Es 层不均匀性,幅度闪烁,闪烁谱

Es 层是在正常 E 层高度上随机出现的一种不稳定的薄层,它的不均匀体及其运动常会使卫星信号产生较强的闪烁. 我国地处中低纬区,是 Es 层高发区之一[1],研究 Es 层不均匀体引起的闪烁特征,在工程应用和学科研究等方面都有重要意义. 我们在新乡(35.3°N, 113.8°E, 与垂测仪站相同)利用偏振仪对 ETS-II 卫星 136MHz 信号幅度和法拉第旋转角进行了 8 年多较连续的观测,本文仅对 1989 年和 1990 年夏季 Es 层不均匀体引起的信号幅度闪烁作一统计分析.

一、数 据 选 用

Es 层闪烁一般表现为: 闪烁波形呈现出一个或多个分立的波群结构,起伏快,持续时间短,对应的 f_0Es 较高. 根据 Es 层闪烁波形特点,在 1989 年 7—8 月和 1990 年 5—8 月的观测记录中选取了 252 次 Es 层闪烁事件 (将一次自然起止的闪烁过程称为一次事件),其中包含 482 个闪烁波群. 对 Es 层和 F 层同时引起的难以区分的闪烁事件没有选用.

二、Es 层闪烁出现率与 f_0Es 的关系

图 1 给出了上述期间闪烁出现率(按小时统计,强度≥3dB 的闪烁持续时间与观测时间的比率)和 $f_0Es \geqslant 5.0$MHz 的 Es 层出现率 (由垂测资料月报表按整点时刻计数). 可以看出二者的变化趋势相近,都是白天出现率最高. 闪烁出现率有两个峰值,分别在1200和 2100LT, 最大出现率为 7.6%; Es 最大出现率在 1000LT, 为 75.4%. 显然, 闪烁出

本文于 1994 年 3 月 21 日收到.

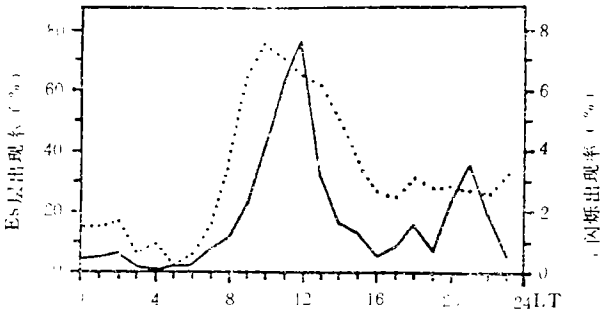


图 1 闪烁出现率(实线)和 Es 层出现率(点线)

Fig. 1 The occurrences of amplitude scintillation (solid line) and sporadic—*E* layer (dotted line)

现率比 Es 层的要低得多,且滞后两小时.

统计表明, 5.0MHz $\leqslant f_0Es \leqslant$ 8.0MHz 和 $f_0Es >$ 8.0MHz 的 Es 层分别只有 14.5% 和 44.4% 的情况对应有闪烁,少数 $f_0Es <$ 5.0MHz 的 Es 层也能引起较弱的闪烁. 闪烁的出现与频高图上 Es 层描迹的扩展情况密切相关,即取决于 Es 层不均匀性.

三、Es 层不均匀体及其闪烁波形特点

a. 闪烁图例

Es 层不均匀体通常是由一个或多个云团状小块组成[2], 它引起的 VHF 幅度闪烁呈现出一个或多个分立的波群结构. 图 2 是一个较大的不均匀块引起的闪烁波群, 主要部分持续时间约 20 分钟,闪烁强度大于 10dB,法拉第旋转角比背景值增大. 由 1000LT 的频高图知 $f_0Es = 8.6$MHz, Es 层描迹有明显的扩展, F_2 层描迹较规则, 表明闪烁是来自于 Es 层. 图 3 给出了这次闪烁的功率谱和自相关函数. 图中 f_F 是闪烁谱的费涅尔滚降频率, S_4 为闪烁指数, t 为自相关时间(即相关函数下降到最大值的二分之一处对应的时间位移量), n 为谱指数(以下同). 不均匀体水平漂移速度为[3]:

$$V = f_F \cdot \sqrt{\lambda z} / \cos \chi_{110}$$

λ 为信号波长, z 为不均匀体所在高度,假定为 110km, χ_{110} 为射线路径上 110km 高度处的天顶角. 由此得到不均匀体水平漂移速度为 50.1m/s, 水平尺度为 60.1km.

自相关时间反映出闪烁信号起伏快慢,图 2 中 0953—1002LT 期间闪烁信号起伏(含未过中心线的起伏)周期平均为 16.9s, 相当于 $1/f_F$ 值,近似为自相关时间的 3.8 倍.

b. 闪烁持续时间和闪烁强度概率分布

Es 层不均匀体块状结构中, 每一小块引起的闪烁波群持续时间和闪烁强度各有不同. 表 1 给出了闪烁持续时间概率分布(不含上限, 以下同)单个波群闪烁强度在 3—5, 5—10, 10—15 及≥15dB 等范围内的出现率分别为 42.9, 31.3, 18.4 和 7.4%. 表明 Es 层闪烁事件持续时间多数在 30min 以下, 闪烁波群则多数为 4—12min. 虽然闪烁持续时间较短,但闪烁强度在 5dB 以上的占 57.1%,所以 Es 层不均匀性对 VHF 电波传播的影

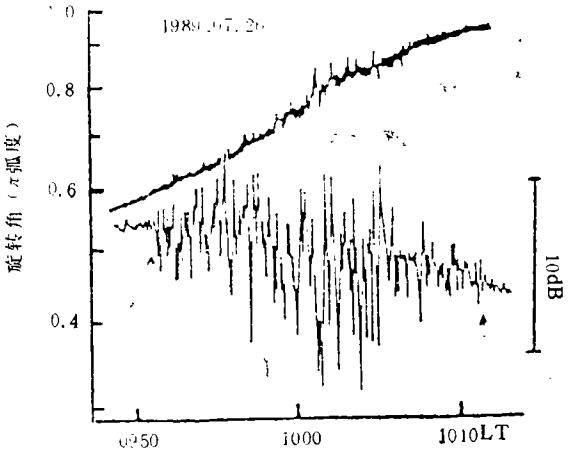
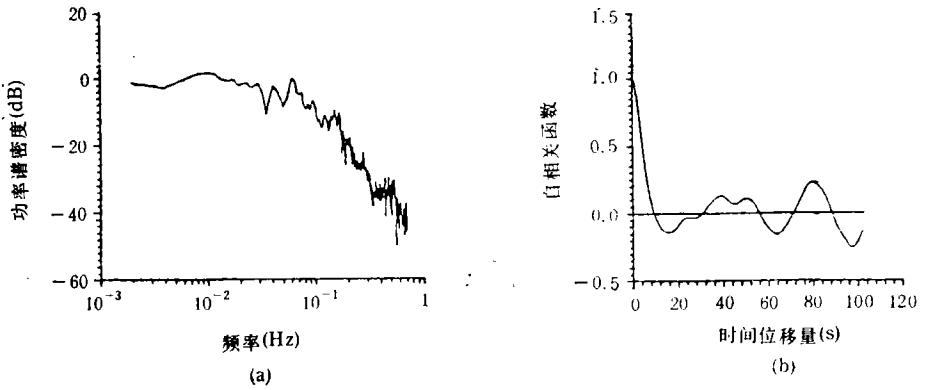


图 2　法拉第旋转角(上)和幅度闪烁(下)记录

Fig. 2　Record of Faraday rotation (up curves) and amplitude scintillations (bottom side)



$S_4 = 0.22$, $f_F = 0.061$Hz, $t = 4.5$s, $n = -4.161$

图 3　幅度闪烁功率谱(a)和自相关函数(b)

Fig. 3　Power spectrum (a) and auto-correlation function (b) of amplitude scintillation

表 1　Es 层闪烁事件和单个闪烁波群持续时间概率分布

类　别	Es 层闪烁事件				闪烁波群			
持续时间(min)	1—15	15—30	30—45	≥45	1—4	4—8	8—12	≥12
出现概率(%)	63.2	21.8	7.1	7.9	17.2	43.0	21.8	17.4

响仍不能忽视。

c. 准周期性闪烁

准周期性闪烁是 Es 层中小块不均匀体引起的闪烁波群的一些特例，也是中纬区的常

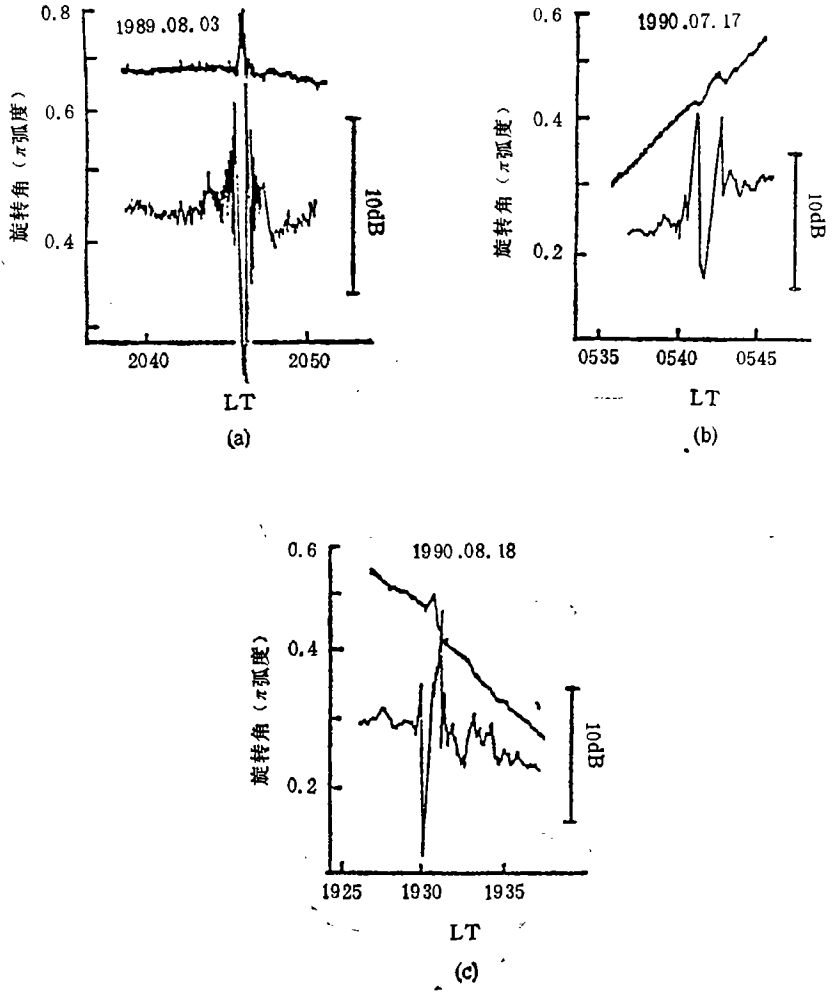


图 4 法拉第旋转角(上)和幅度闪烁(下)记录

Fig. 4 Recordes of Faraday rotation (up curves) and amplitude scintillations (bottom side)

见现象.图 4 给出了 3 例闪烁记录.图 4(a)、(b)和(c)闪烁信号最大起伏分别为>15, >10 和 > 15dB, 对应法拉第旋转角附加增量分别为 0.074, 0.026 和 0.058 π 弧度, 相应于 TEC 增加分别为 3.4, 1.2 和 2.6 × 10^{15}elec./m^2 (1π 弧度对应为 4.54 × 10^{16}elec./m^2), 略高于日本的观测结果[4].

图 4 中闪烁波形有显著的突变,意味着不均匀块电子密度梯度十分陡峭.

四、幅度闪烁功率谱

上述期间白天 (0600—1900LT) 和夜间 (2000—0500LT) 信号幅度闪烁幂律型功率谱的统计结果列入表 2.

表 2　闪烁谱各参量统计平均值

时段	S_4 值域	统计数	S_4	n	f_F ($\times10^{-2}$Hz)	t (s)	V (m/s)
白天	$0.08<S_4\leqslant0.40$	42	0.209±0.015	−4.28±0.20	7.5±0.7	5.3±0.6	61.5±5.7
夜间	$0.08<S_4\leqslant0.40$	61	0.204±0.011	−3.97±0.09	3.6±0.3	13.1±0.8	52.7±4.4

由表可以看出白天和夜间闪烁谱参量有差异。由于 Es 层和 F 层引起的闪烁波形有明显的差别，根据我们所选用的观测记录，白天和夜间的结果可分别表示 Es 层和 F 层闪烁谱的平均特性。根据闪烁波群持续时间和平均水平漂移速度，可认为小块状不均匀体的水平尺度多数为 15—44km。

图 5(a)和(b)分别给出了白天 S_4 与 $|n|$ 和 f_F 与 t 的关系曲线。图中 R 和 S 分别为相关系数和剩余标准差，Y 与 X 为拟合曲线方程。表明白天 S_4 与 $|n|$ 不相关，f_F 与 t 近似为倒数关系，即

$$t = 0.338/f_F^{0.982}.$$

夜间 S_4 与 $|n|$ 成弱的正相关，其 $R = 0.49$；f_F 与 t 也近似为倒数关系，即

$$t = 0.430/f_F^{0.918},$$

图 6(b)中，t 和 f_F 相对于拟合曲线对应值的标准偏差分别为 0.84s 和 0.013Hz；平均相对误差分别为 13.6% 和 13.8%。

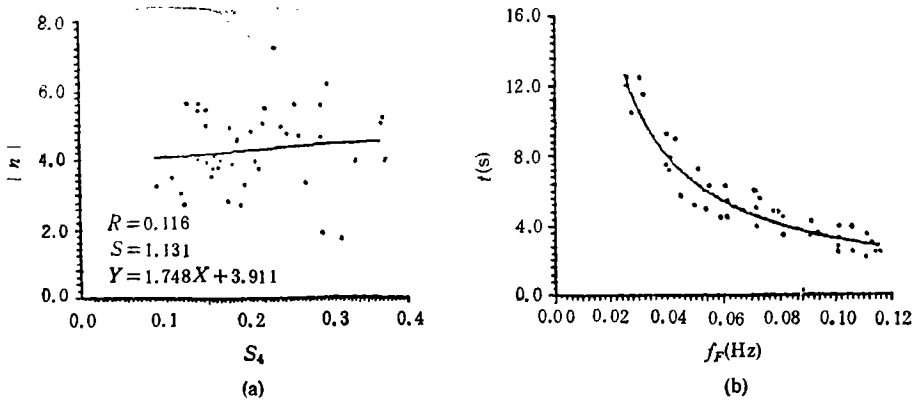


图 5　(a) 闪烁指数 S_4 与谱指数 $|n|$ 的关系 (b) 费涅尔频率 f_F 与自相关时间 t 的关系，$Y=(X-0.982)\times0.335$

Fig. 5(a)　Scintillation index S_4 via spectra index $|n|$ (b) Fresnel frequency f_F via anto-correlation time

五、小　结

a. Es 层不均匀体引起的 VHF 幅度闪烁波形一般为一个或多个分立的波群结构。闪烁事件持续时间 85% 在 30min 以下，闪烁波群则有 64.8% 为 4—12min。闪烁强度 ≥

5dB 的占 57.1%。

b. Es 层不均匀体水平漂移速度平均为 61.5m/s，小块不均匀体的水平尺度多数为 15—44km。

c. 闪烁出现率一天中有两个极大值，分别在 1200 和 2100LT，白天出现率最高，约为 7.6%。$f_0Es \geqslant 5.0$MHz 的 Es 层出现率比闪烁出现率高得多，闪烁只取决于 Es 层不均匀性。

d. Es 层和 F 层引起的闪烁谱参量有差异。Es 层闪烁指数 S_4 与 $|n|$ 不相关，f_p 与 t 近似为倒数关系。

致谢 申继华等研制了观测设备，马健敏主持了闪烁强度定标，彭素琴等整理了资料，黄昌理等提供了 f_0Es 数据，朱太平给予技术指导，在此一并致谢.

参 考 文 献

[1] 李玉辉，空间科学学报，第 **10** 卷，第 156 页，1990.
[2] Whitehead, J. D., *J. A. T. P.*, Vol. **51**, p. 401, 1989.
[3] Franke, S. J. and C. H. Liu, *J. Geophys. Res.*, Vol. **88**, p. 7075, 1983.
[4] Kenji Sinno and Migao KAN, *Journal of the Radio Research Laboratories*, Vol. **27**, p. 53, 1980.

SCINTILLATION CHARACTERISTICS OF SPORADIC IRREGULARITIES OVER XINXIANG

Long Qi-li
(China Research Institute of Radiowave Propagation, Xinxiang 453003)

Abstract

According to the results of the 136MHz signal amplitude scintillation from ETS-II satellite observed at Xinxiang in the summers during 1989—1990, a statistical relation between scintillation occurrence and f_0Es is given with the help of digital ionosond observations. The quasi-periodic scintillation properties are shown. The probabilities of scintillation intensity and of the duration, as well as the features of scintillation spectrum are obtained from the statistical study. Physical characteristics of irregularities, such as the size and the drift speed are deduced from the observations.

Key words Sporadic E irregularities, Amplitude scintillation, Scintillation spectrum