

武汉上空偶发 E 层与流星雨的联系^{*}

牛晓娟 熊建刚 万卫星 宁百齐 刘立波 袁 洪

(中国科学院武汉物理与数学研究所 武汉 430071)

摘 要

利用全天空流星雷达和数字测高仪联合观测数据,初步分析了武汉(30°32'N, 114°22'E)上空2002年3次大的流星雨(英仙座、狮子座、双子座)及2003年象限座流星雨爆发期间Es的出现率变化趋势及其与流星观测量的关系.结果表明,在流星雨爆发时,雷达观测到的流星数目会显著增加;流星雨峰值过后,Es出现率也会增大.流星数和Es出现率间的平均互相关函数有两个峰值,第一个峰值平均出现在流星雨爆发后的第2天前,第二个峰值平均出现在流星雨后第6天前.我们认为,第一个峰值对应于流星雨期间的大量流星雨电离产生的Es,第二个峰值对应于流星雨后沉积的金属离子在风剪切作用下形成的Es.

关键词 偶发E层;流星雨

1 引言

电离层偶发E层(Es层)是电离层E层内不规则的电离密集薄层,Es层的观测与研究受到了长时期的普遍关注,但迄今为止人们对Es层的形态结构以及形成机制的认识还比较有限,有关Es层的理论发展得还不是很完善.目前普遍认为Es层的形态特征除主要受中纬风场剪切和高纬强电场的作用外^[1],还与地磁活动、天气、太阳潮汐、流星雨等现象有关.

有关流星雨对Es层的影响,早在1932年,Schafer和Goodall就描述了高度在100—200 km上Es层回波和狮子座流星雨间的联系,Appleton和Naismith分析了在流星雨期间持续时间较长的Es层.Hedberg^[2]认为,流星雨的爆发对Es层的出现有影响,但不是同步的,有时间上的滞后.但Kotadia等^[3]指出1963年流星雨爆发期间Es的出现率并无明显的变化.最近,Chandra等人^[4]的研究得出,1996和1998年在低纬和赤道上空,狮子座流星雨爆发期间(11月17—19日)Es的出现率明显增高.何友文等^[5]也指出,狮子座强流星雨爆发期间,中纬度地区流星出没的90—120 km高度区域内出现了持续时间长、高度稳定、水平尺度大、垂直尺度相当小的高浓度电离薄层——Es层.

本文根据武汉全天空无线电流星雷达和数字测高仪对2002年3次较大的流星雨事件(英仙座、狮子座、双子座)及2003年象限座流星雨事件期间的联合观测的数据,研究流星雨爆发事件对Es层出现率的影响及其滞后的时间.

^{*} 国家自然科学基金项目(40174048, 40134020)资助
2003-06-16 收到原稿, 2003-11-03 收到修定稿

2 观测结果

2.1 流星观测

武汉流星雷达是一种全天空无线电雷达,可以用于探测观测站 200—300 km 范围内约 70—110 km 高度上出现的流星余迹的回波。该雷达系统由发射机、多通道接收机、控制器、采集和数据分析计算机以及发射和接收天线阵构成。天线系统包含 1 个发射天线和 5 个接收天线,其布阵方式与加拿大 Resolute Bay 的流星雷达基本一致^[6]。通过测量不同接收天线的回波信号的相位差可以确定流星的位置,再利用回波的多普勒频移可获得流星位置处大气运动的径向速度,并研究大气运动的各种特性^[7]。武汉流星雷达的峰值功率为 7.5 kW,工作频率为 38.7 MHz,2002 年 9 月 18 日以前,雷达发射的脉冲重复频率为 500 Hz,其间探测的流星数目比较少,9 月 18 日以后,脉冲重复频率提高到 1980 Hz,探测的流星数目有明显的提高。

从流星雷达回波中正确识别流星的方法是逐步发展起来的^[6],通常在回波中若有明显增长的信号,并且在 2 个或更多采样周期范围内回波幅度超过平均水平的 4 倍,这个回波就被选取为流星候选事件。在这些候选事件中,仅有一部分是真实的流星,根据以下原则可以从候选事件中去掉其他因素引起的虚假回波增强事件,得到正确的流星计数。

(1) 流星回波信号是突然增长的。如果回波信号不是突然增长的,这个候选事件可能是飞行器、E 层回波或其他事件。一般要求增长时间为 0.3 s 或更短时间。

(2) 流星回波信号持续的时间小于 2—3 s,若回波信号在 3 s 内回到噪声水平,则通常这个候选事件是流星事件。

(3) 流星回波在峰值出现后 900 ms 内没有明显的扰动。检验方法是首先确定峰值出现后信号衰减到峰值 0.3 倍的时间,如果在该时间到峰值出现后 900 ms 内,信号不再达到峰值的 0.7 倍,则该事件是流星事件。这个原则有效剔除了一些缓慢衰减并呈振荡形状的回波,这其中也包括一些过稠密流星(即流星尾迹中电子线密度超过 10^{13}m^{-1} 的流星),但由于过稠密流星在流星中所占的比例很小,剔除这些流星对流星计数影响并不是很大。

(4) 计算所有天线间的互相关函数。如果相关函数相位变化的标准方差较大,则事件可能是虚假噪声。

图 1 是一次流星事件中两个接受通道上获得的流星余迹回波的幅度和相位,从中可见 2002 年 8 月 13 日 3 时 0 分 18 秒到 19 秒出现了一次非常明显的流星回波,两个通道中回波信号(其他通道类似)均出现突然增长,并且在达到峰值后很快衰减;从回波的相位来看,在流星出现的瞬间,相位随时间的变化近似是线性的。

2.2 流星雨爆发前后流星数目及 f_0E_s 的变化

本文对 E_s 出现率的统计采用 $f_0E_s > 5\text{ MHz}$ 标准,即强的 E_s 出现率。采用的数据来自 2002 年建成的位于武汉的宽波束全天空无线电流星雷达及位于同一地区的 DGS256 数字测高仪联合观测的数据。图 2 给出了 2002 年英仙座、狮子座、双子座流星雨及 2003 年象限座流星雨爆发峰值的前 2 天到其后 10 天内武汉上空流星出现量及 E_s 日出现率的变化。象限座流星雨(Quadrantids Meteor Shower)一般发生在 1 月 1 日到 7 日,由图 2(a)可见,1 月 4 日出现的流星量比较大,达到 3000 多颗,且在流星雨爆发的当天及 6、9、10 日

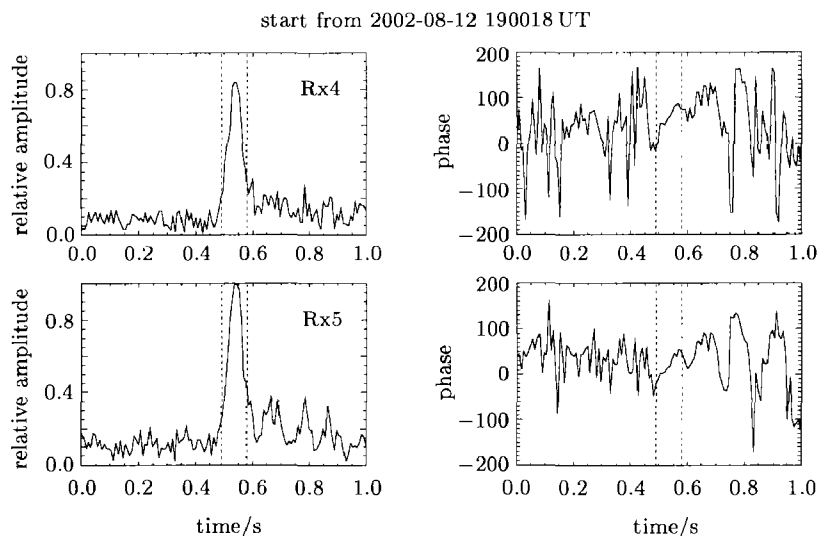


图 1 2002 年 8 月 13 日两个接受通道上一个流星回波的振幅和相位

Fig.1 The amplitudes and phases of a meteor echo in two received channels on Aug. 13, 2002

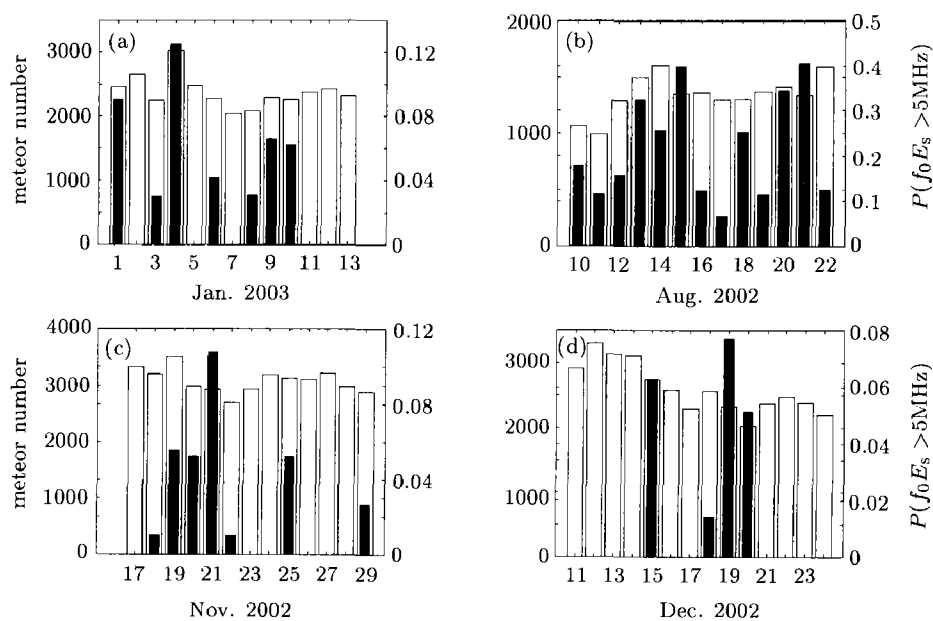


图 2 流星雨爆发期间流星量 (白色) 和 Es 的出现率 (黑色)

Fig.2 Histogram for the meteor numbers (white) and the sporadic-E occurrence (black) during the outburst of the 4 meteor showers

都有强的 Es 出现, 但 4 日 Es 的出现率最大. 英仙座流星雨 (Perseids Meteor Shower) 每年都会出现一次, 一般发生在 7 月 17 日到 8 月 24 日期间, 武汉观测到的是 8 月 14 日的流星量有个峰值, 而流星雨后的 15 日有强的 Es 出现 (13 日 1240 到 14 日 0115 数字测高

仪因为停电而没有数据, 图 2(b) 中 13 日的数据是根据 13 日前一天和后一天同一时段的观测数据通过线性插值得得). 15 日强的 Es 与流星雨的爆发有关. 狮子座流星雨 (Leonids Meteor Shower) 一般出现在每年的 11 月 14 日到 21 日, 由图 2(c) 可以看到, 19 日观测的流星量比较大, 达到 3500 多颗. 流星雨爆发 2 天后的 21 日 Es 的出现率明显增大. 双子座流星雨 (Geminids Meteor Shower) 一般在 12 月 6 日到 17 日爆发, 由图 2(d) 看到, 12 到 14 日流星量都比较大. 在流星雨爆发峰值后的 15 日和 19 日 Es 的出现率都明显增大.

综合这 4 次流星雨爆发期间 Es 出现率的逐日变化可以得到: 在流星雨爆发后会有强的 Es 出现, 其出现率明显增大. 对比图 2 也可以发现, 8 月份 Es 的出现率明显比 1、11、12 月份大, 10 日到 22 日每天都有强的 Es 出现, Es 的出现率夏季比冬季大.

计算流星雨事件所在月份的平均流星量, 然后用流星爆发峰值当天的流星量除以该平均流星量, 用此所得值作为流星雨的相对强度. 表 1 给出了此四次流星雨的相对强度及峰值爆发后几天 Es 的最大出现率. 表 1 表明, 这 4 次流星雨事件中, 8 月份英仙座流星雨很强, 其峰值后 1 天 15 日强的 Es 出现率也很大.

表 1 4 次流星雨的相对强度和其后几天 Es 的最大出现率
Table 1 Relative intensity of the 4 meteor showers and the maximum occurrence of Es after the outburst of meter showers

	象限座	英仙座	狮子座	双子座
相对强度	1.20	1.40	1.16	1.29
流星雨的相对强度	0.05	0.40	0.11	0.06

2.3 相关函数

采用流星雨爆发峰值的前 2 天到其后 10 天内流星的日出现量和 Es 的出现率 ($f_0 E_s > 5 \text{ MHz}$) 可计算强的流星雨和 Es 的相关性及流星雨后 Es 出现的滞后时间. 图 3 给出象限座、英仙座、狮子座、双子座流星雨爆发前 2 天及其后 10 天内流星的日出现量和 Es 出现率的互相关函数分布图.

由图 3 可以看到, 象限座的流星雨在其爆发峰值的当天及其后 5 天, 流星量和 Es 出现率的互相关函数有两个峰值, 在其当天互相关函数达到最大值 (0.46). 英仙座流星雨在其爆发峰值后的 1 天互相关函数有极大值 (0.48), 在其 7 天后又有一峰值. 狮子座流星雨在其爆发峰值 2 天后的 21 日互相关函数达到最大值 (0.61), 在其 6 天后再次出现峰值. 双子座流星雨在其爆发峰值后的 1 天互相关函数有个很小的峰值, 但 7 天后达到最大值 (0.44). 以上表明, 在强的流星雨后, Es 的出现率有 2 个峰值, 第 1 个峰值一般在雨量爆发峰值后的 0—2 天, 第 2 个峰值出现在其后的 5—7 天. 在这 4 次流星雨中, 象限座、英仙座、狮子座均是 Es 的第 1 个峰值很明显. 但是, 双子座的第 1 个峰值就非常小, 第 2 个峰值比第 1 个峰值明显. 图 4 给出了 4 次流星雨爆发峰值的前 2 天到其后 10 天内流星雨的日出现雨量和 Es 出现率的互相关函数的平均值分布图.

由图 4 可见, 这 4 次流星雨爆发期间, 流星量和 Es 的互相关函数的平均值为正, 且有 2 个峰值, 第 1 个峰值出现在流星雨爆发后的第 2 天, 第 2 个峰值出现在流星雨爆发后的第 6 天.

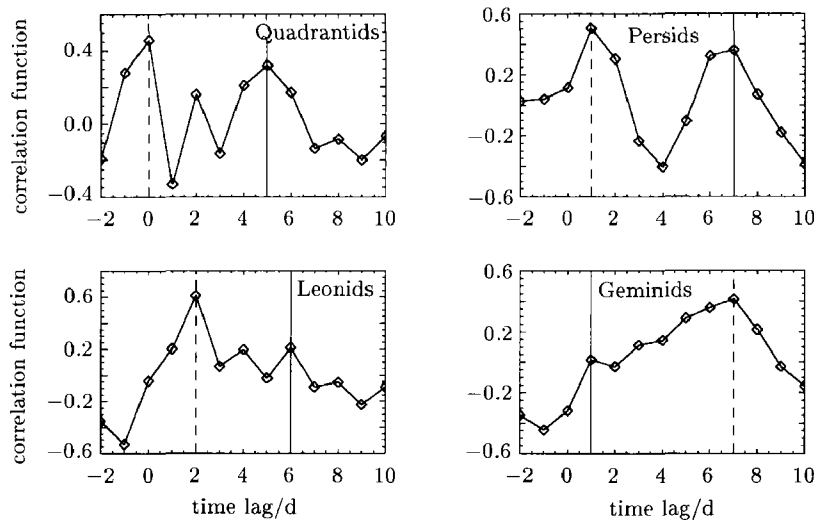


图 3 流星雨爆发期间流星量与 Es 出现率的互相关函数

Fig.3 Cross-correlation function between the meteor numbers and the Sporadic-E occurrence during the outburst of meteor showers

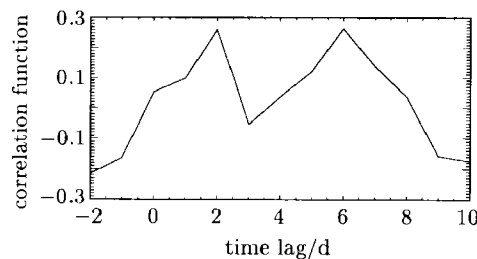


图 4 流星雨爆发前 2 天后 10 天流星量和 Es 的互相关函数的平均值

Fig.4 The average of the 4 cross-correlation functions between meteor numbers and Sporadic-E occurrence during the 4 meteor showers.

3 讨论

Es 层是电离突然增强的 E 区薄层。影响这个电离突然增强即影响 Es 形成的因素有很多, 其中大的流星雨爆发也是人们非常关注的因素之一。通过对 2002 年 3 次大的流星雨 (英仙座、狮子座、双子座) 及 2003 年的象限座流星雨爆发期后的 Es 的分析讨论, 我们发现: 流星雨爆发对强 Es 的形成有一定的影响, 在流星雨爆发后, 强的 Es 的出现率有两个峰值, 第 1 个出现在其后的 0—2 天, 第 2 个出现在其后的 5—7 天。4 次流星雨爆发期间, 流星量和 Es 的互相关函数的平均值为正, 且有两个峰值, 第 1 个峰值出现在流星雨爆发后的第 2 天, 第 2 个峰值出现在流星雨爆发后的第 6 天。本文在进行流星雨日出现的流星量和 Es 的出现率间的互相关分析时, 曾采用减去 Es 的月出现率, 即剔除本底后的结果并无明显变化, 特别是我们计算的二者之间的相关函数的平均值的两个峰

值不是很大(如与双子座流星雨对应的相关函数的第一个峰值仅略大于零),这表明 Es 的成因很复杂,特别是中国扇区的 Es 特性与其他区域有显著差异,而流星雨的爆发只是影响因素之一。但是,4 次流星雨期间流星量与 Es 出现率之间的相关函数均出现十分相似的变化形态,这表明流星雨的爆发是影响 Es 形成的不可忽视的因素。

Grebowsky 等^[8]通过比较 40 枚火箭(其中 5 枚在流星雨爆发峰值期间)在 95 km 左右探测的金属离子浓度,发现流星雨期间离子层峰值高于平时峰值,流星雨对电离层成分有重要影响。一般认为,流星雨爆发后残留的含有大量金属粒子的流星碎片经沉淀,在盛行中性风和电场的作用下汇聚而形成大的密度梯度,使得具有不稳定机制的粒子形成密度不规则的离子层。而这些金属离子有一定的寿命,所以在流星雨爆发期后,由于这些金属离子的存在和风剪切的作用会有极强的 Es 出现。Ellyet 等^[9]描述了由流星引起的 3 种 Es,命名为 Em。第 1 种 Em 是由单个流星尾迹引起的瞬时的部分反射的测高仪回波,其在测高仪频高图上描述很短。第 2 种 Em 是在强的流星雨期间,大量的流星电离而引起的几乎同步的 Es,其在频高图上 Es 的高频回波中占主导。第 3 种 Em 是在流星区存留时间比较长的流星金属离子在风剪切作用下进入 E 层形成的 Es。这种 Es 的临界频率一般都在 4.0、6.5 或 7.0 MHz 以上。一般认为流星雨爆发后滞后的 Es 是第 3 种 Em。由此推测,本文图 4 看到的双峰现象,第一次峰值可能是第 2 种 Em,而第 2 个峰值可能是第 3 种 Em。而流星雨爆发与强的 Es 的出现率两者的相关函数为正,其系数最大值不是很大,主要是因为金属离子并不是影响 Es 形成的惟一因素,Es 的形成还受非金属离子等的影响。总之,Es 的形态结构非常复杂,影响其形成的因素也很多,流星雨爆发事件只是其中之一。

参 考 文 献

- [1] Zuo Xiaomin, Wan Weixing. The correlation between Sprodic-E and solar activity. *Chin. J. Geophys.*, 2002, **45**(6):759—765. in Chinese (左小敏, 万卫星. 电离层突发 E 层与太阳活动的相关性. 地球物理学报, 2002, **45**(6):759—765)
- [2] Hedberg Ake. Seasonal variations in the correlation of meteors and sporadic E. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1976, **38**:785—788
- [3] Kotadia K M, Jani K G. Sporadic-E ionization and anomalous increase in the rate of radar meteor counts during 1963. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1976, **29**:221—223
- [4] Chandra H, Sharma S, Devasia C V *et al.* Sporadic-E associated with the Leonid meteor shower event of November 1998 over low and equatorial latitudes. *Ann. Geophys.*, 2001, **19**:59—69
- [5] He Youwen, Xu Pinxin. The Es layer during the burst of the strong Leonid meteor shower in the sixties. *Chin J. Rad. Sci.*, 1997, **12**(1):65—71. in Chinese (何友文, 徐品新. 六十年代狮子座流星爆发期间 Es 层. 电波科学学报, 1997, **12**(1):65—71)
- [6] Hocking W K, Fuller B, Vandeppeer B. Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology. *J. Atmos. Terr. Solar Phys.*, 2001, **63**:155—169
- [7] Xiong Jiangang, Wan Weixing, Ning Baiqi, Liu Libo. Meteor radar observation of circulation near mesopause over Wuhan. *Chin. Sci. Bull.*, 2003, **48**(10):1102—1106. in Chinese (熊建刚, 万卫星, 宁百齐, 刘立波. 武汉上空中层顶附近大气环流的流星雷达观测. 科学通报, 2003, **48**(10):1102—1106)
- [8] Grebowsky G M, Goldberg W D, Pesenell. Do meteor shower significantly perturb the ionosphere. *J. Atmos. Terr. Solar Phys.*, 1998, **60**:607—615
- [9] Ellyet C D. Relationship of meteors to Sporadic E 1. A sorting of facts. *J. Geophys. Res.*, 1976, **81**:6131—6134

RELATIONSHIP BETWEEN THE METEOR SHOWERS AND THE OCCURRENCE OF SPORADIC E OVER WUHAN

NIU Xiaojuan XIONG Jiangang WAN Weixing NING Baiqi
LIU Libo YUAN Hong

*(Wuhan Ionospheric Observatory, Wuhan Institute of Physics and Mathematics,
The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071)*

Abstract

This paper analyzes the relationship between the occurrence of sporadic-E and the meteor numbers during the Perseids, Leonids and Geminids meteor showers in 2002 and Quadrantids meteor shower in 2003 over Wuhan ($30^{\circ}32'N$, $114^{\circ}22'E$). The data used here are derived from an all-sky meteor radar and a digital ionosonde at Wuhan. The results show that the meteor number increased during the outburst of meteor showers and that the occurrence frequency of strong Sporadic-E also increases after the outburst of meteor showers. There are two peaks for the mean Cross-correlation function between the meteor number and the occurrence rate of Sporadic-E, one appears around the second day after the outburst of meteor shower and the other appears around the sixth day. It is suggested that the first peak could correspond to the Sporadic-E produced directly by many meteors ionization during the outburst of meteor shower, the second peak could correspond to the Sporadic-E produced by the subsequent action of wind shear on residual meteor ion concentrations.

Key words Sporadic E layer, Meteor shower