第3卷 第4期 空间科学学报 Vol. 3, No. 4
1983年10月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1983

武昌上空电离层 *Es-s* 的发展及其相关因素

谭子勋 黄信榆 王 燊
（中国科学院武汉物理研究所）（武 汉 大 学）

摘 要

本文对武昌上空电离层 *Es-s* 作了进一步分析研究与理论探讨，其结果表明：

1. *Es-s* 的出现正比于因子 $K=\frac{1}{G}(\overline{f^0E}/\overline{f_{min}})$.

2. 仪器功率对 *Es-s* 出现率有显著影响.

3. *Es-s* 之所以表现为非磁扰日现象，乃是由于磁扰时 f_{min} 较高，妨碍了对它的观测.

4. 武昌上空 *Es-s* 的出现既具有前兆征候又带有后迹现象，并与由声重力波引起的分层有关. 联系武昌上空电离层其它某些参量的共同特点，有可能月致效应是其共同的推动源.

Es-s 是通常被认为大多伴随磁扰或极光、并主要在极区与地磁赤道地区频繁出现的电离层现象，我们曾论述了它在武昌这样的低中纬度地区出现的经常性，并指出了其形态与出现规律的主要特征[1]. 武昌上空 *Es-s* 的出现率仅次于该台站的经常类型 *Es-l*、*Es-c*、*Es-h* 和 *Es-f* 也是一种常见类型；大多出现在非磁扰日的白昼，并分别于地方时9、10点钟与夏季月份达最大值，春秋分月而臻极小值；这些特征既没有反映与地磁活动的相关性，也不受太阳活动的控制；显然并非偶然所致.

本文拟从考察武昌上空 *Es-s* 的发生、发展过程及其与其他地球物理和电离层暂态现象的关系入手，半定量地探讨其主要特征的形成原因. 把综合考虑各种相关因素后所得的模拟季变曲线和日变曲线与相应的实测曲线相比较，除太阳天顶角较大的早晚时间有明显偏离之外，主要部分均相符很好.

一、*Es-s* 发展的主要特征及其与其他电离层暂态现象的关系

大量考察 *Es-s* 出现前后的频高图，发现武昌上空 *Es-s* 的出现具有与 J. K. Olesen 所指出的 *Es-s* 不同的特征[2]. 它不仅与磁扰动和极光现象无关，而且既具前兆又带后迹，并与一些电离层暂态现象关系密切.

首先，*Es-s* 出现之前，正规E层，尤其是临界频率附近，有不很强的扩散回波，（在武昌当扩散回波较强时，其后多出现 *Es-a*）；其次，紧接着 *Es-s* 的消失，在频率复盖较宽的 *Es-l* 或 *Es-c* 描迹之上，出现较弱的、还不能认为是 *Es-q* 的扩散回波. 与 *Es-s* 出现的

本文于1982年12月30日收到.

同时，F 区或 E 区常出现新的分层，发育成熟的如 E_2、$F_{0.5}$ 或 $F_{1.5}$，发育不全的则为表征分层的弯折现象(见文献[1]中图 2—4)．当然，还必须指出，虽然 *Es–s* 伴随有分层现象，但并非所有分层必有 *Es–s*，即 *Es–s* 只是在具有分层时某些特定条件下的一种表现形态．从频高图的发展看，这种分层带有明显的声重力波特性．在武昌上空作为序列性 *Es* 发展过程的 E_2 层的出现亦有类似的特点，即也在地方时 9、10 点钟邻近有特定的极大．这时，F_2 层也有反常特征．从 W. R. Piggott 与作者对 Es 层高度 $h'Es$ 的初步分析中，发现存在着明显的月潮迹象．可以认为，所有这些现象都可能是由于月致效应．在这共同而稳定的推动源与某些其他因素的相互作用下，激发声重力波，导致上述这些特征的形成．

二、影响 *Es–s* 季变、日变特征的因素

影响 *Es–s* 观测的重要因素是表征电离层吸收程度的 f_{min}，吸收越大，观测到的几率就越小．对武昌地区 *Es–l* 的统计分析表明，*Es–l* 主要出现于冬季月份，而夏季月份达最低值，就一天的分布而论，上午少，下午多[3]，这恰与观测到 *Es–s* 的出现情况相反；再者，虽然各种 *Es* 的形成机制不同，但除外来电离源所致者外，其出现频度似应与背景电离有关．当然，以此进行定量计算，目前垂直探测的信息量和度量精度都显得不够．但抽取一些观测情况特别好，干扰因素较少，仪器校准数据完整的年份，进行半定量估计也未尝不可．为此，我们选用了武昌台 1965 年的观测记录．综合上述因素，对比分析得出：*Es–s* 在频高图上的视出现率(简称出现率)大致与 *Es–l* 的出现率、f_{min} 的大小成反比，而与 f_0E 成正比．

在进行半定量分析时，对所用数据作了这样的处理：季变分析中，f_{min} 与 f^0E 的每月数据采用 9—16 时(120° EMT)的月中值的平均值．因为 *Es–s* 主要出现于白昼，这样选

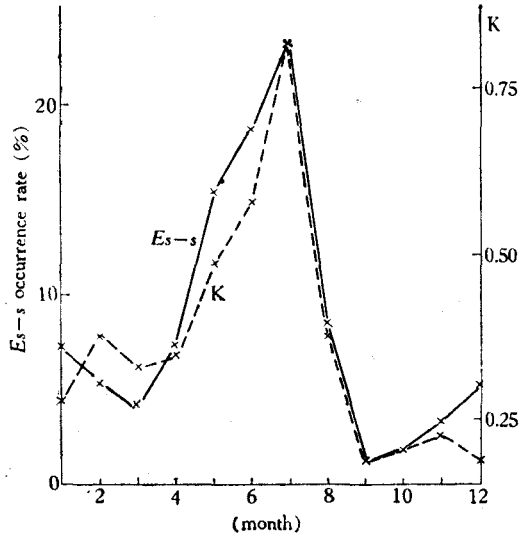


图 1 1965 年 *Es–s* 出现率与出现因子 *K* 的比较(季变)

Fig. 1 Comparison between *Es–s* occurrence and factor *K* (seasonal variation, 1965)

取恰好上午和下午各四个小时，可以排除由于季节差异而引起的日出、日落时刻不一致的影响，并可克服由于广播干扰带来的度量精度不够和现象难于分辨的缺陷. 日变分析中的每小时值为 12 个月的该小时中值的平均值.

令 *Es-s* 的出现因子为

$$K = \frac{1}{G}\left(\overline{f^0E}/\overline{f_{\min}}\right),$$

其中 G 为 *Es-l* 的出现率，则 1965 年 K 与 *Es-s* 出现率的季变、日变曲线分别如图 1、2 所示. 由图可见，无论季变或日变，两曲线均吻合甚好，这表明 *Es-s* 与 *Es-l* 出现率之乘积正比于量 $\overline{f^0E}/\overline{f_{\min}}$；当然也可看到，在太阳天顶角 χ 较大的早晚，即上午的 0700 和 0800 时以及下午的 1800 时有较大偏离.

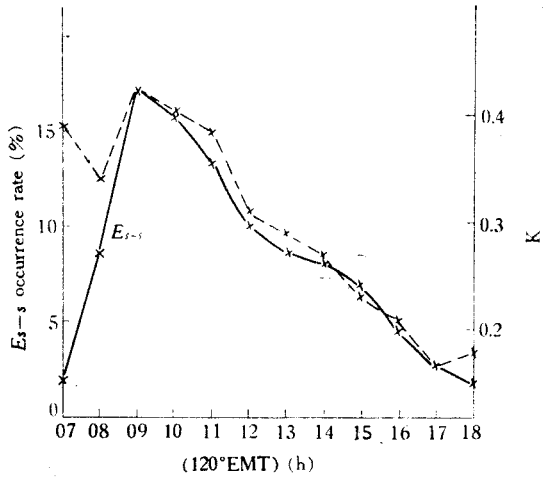


图 2　1965 年 *Es-s* 出现率与出现因子 K 的比较（日变）

Fig. 2　Comparison between *Es-s* occurrence and factor K (diurnal variation, 1965)

表 1　武昌地区 f_NEs/f^0E 随地方时的变化

地方时		06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$\frac{f_NEs}{f^0E}$	夏至	.37	.86	.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.99	.96	.82	.17
	春秋分		.34	.87	.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.97	.87	.34	
	冬至			.45	.85	.95	.98	.98	.98	.97	.92	.76	.10		

如果认为 *Es-s* 的出现高度 hEs 比较稳定，而 E 层峰值高度 h_mE 随 χ 有显著变化，则在以地方时中午为中心的一个相当长的时段内，hEs 与 h_mE 相距不远，可用 f^0E 代替背景电离的等离子体频率 f_NEs；但在 χ 接近 90° 的早晚，h_mE 显著上升，则不能忽略 f_NEs 与 f^0E 的差异.

假设 E 层为查普曼层，而且 hEs 位于 χ 为零时的 h_mE 之上 1/5 个标高处，则比值 f_NEs/f^0E 随 χ（用地方时表示）的变化如表 1 所示. 利用表中数据，不仅可以解释 *Es-s* 出

现率日变曲线与相应 K 因子曲线的早晚偏离，同时也可说明为什么夏季和春、秋分日变曲线的极大值在 0900 时，而冬季则移至 1100 时的特征(参见文献[1]图 7)。

三、仪器功率与地磁活动对 *Es-s* 出现的影响

Es 的主要特征之一是极限频率 f^0Es 与仪器功率密切有关。对 *Es-s* 来说，在频高图上的出现次数也受到仪器功率的很大影响。

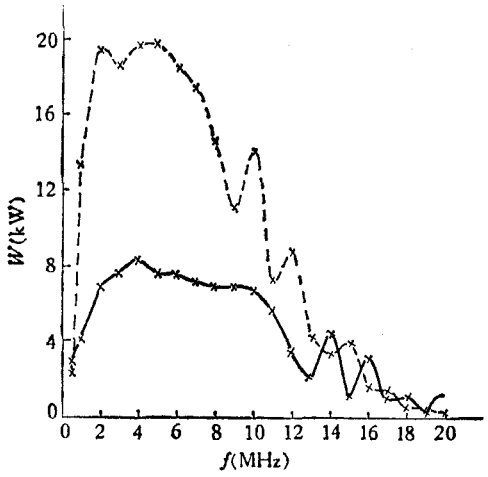


图 3 不同时期的仪器功率曲线*

Fig. 3 Power curves of the ionosonde

×—× 1964.4.25 测量， ×---× 1964.11.13 测量

我们曾经指出，1965 年 *Es-s* 的出现次数为 1964 年的 3.4 倍(前者为 425 次，后者 124 次)[1]。这两年太阳和地磁的活动情况均相差无几，所不同的是 1964 年底对观测仪器进行了调整检修，使仪器功率在 *Es-s* 出现频段范围内提高了一倍左右。如图 3 所示，在 *Es-s* 出现频率范围内仪器功率增加了 3.4—3.6 分贝，而 *Es-s* 的出现次数增加了两倍多。由此看出，有些台站纬度或经度相差不多而 *Es-s* 出现频度相差甚多的现象，似乎可以从仪器功率上寻找原因。

Es-s 的出现与 f_{min} 的简单反比关系，也可用来解释 *Es-s* 主要表现为非磁扰日的现象。在武昌，高 f_{min} 与高地磁活动具有较好的相关性[4]，在磁扰日，并非 *Es-s* 不存在，而是由于吸收较大(也即 f_{min} 较高)，影响了对它的观测。当然，磁扰也可能改变 *Es-s* 的形成条件。

四、结 论

对武昌上空这一特异的 *Es-s* 常见类型所进行的进一步的分析表明：

1. *Es-s* 的出现，在武昌这样的低中纬度地区，并非偶然；它不仅特征显著、具有经常性，而且多发生于非磁扰日。其形成必将与相应区域——E 区的背景电离有关。如果以 $K=\frac{1}{G}(\overline{f^0E}/\overline{f_{min}})$ 作为 *Es-s* 的出现因子，则对 1965 年的抽样分析表明：*Es-s* 出现百分数的季变、日变曲线与 K 的相应曲线十分吻合；早晚的偏离、日变曲线极大值的季节效应也可以从太阳天顶角影响 *Es* 所处高度上背景电离的观点予以合理诠释。

2. *Es-s* 与其他 *Es* 的明显不同点是其出现次数对仪器功率有显著依赖。

3. 磁扰日 *Es-s* 之所以特别少，并非它不存在，而是由于这时吸收较大，妨碍了对它的

* 任华峰同志参加此曲线的测量工作

观测.

4.武昌上空 *Es-s* 的出现既具有前兆又带有后迹，并与由声重力波引起的分层现象有关. 这一奇特现象颇引人注目. 联系到武昌上空电离层一些参量的共同特点，有可能月致效应是其共同的推动源.

Es 的研究在电离层研究领域中至今尚为不十分成熟的课题. 至于对低中纬度地区特异的 *Es-s* 这一常见类型的研究，更是刚刚迈步. 超远距离电视通过 *Es* 层的偶然传播以及 *Es* 出现的偶发性、地区性这些事实表明，*Es* 层在电波传播上具有保密性强、频率甚高而稳定等特点，因此，其研究具有重大的实用价值.

W. R. Piggott 博士在武汉工作期间曾对这方面的研究提出过许多指导性的设想，特此表示谢意.

参　考　文　献

[1] 王燊、黄信榆、谭子勋，空间科学学报，第 **3** 卷，第 1 期，第 44 页，1983.
[2] J. K. Olesen, *J. Geophys. Res.* Vol. **80**, p. 696, 1975.
[3] 刘家栋、谭子勋、龙咸灵，武汉大学学报(自然科学版)，第 4 期，第 79 页，1982.
[4] 黄信榆、谭子勋、王燊，地球物理学报，第 **25** 卷，第 379 页，1982.

ON THE DEVELOPMENT OF IONOSPHERIC *Es-s* OVER WUCHANG, CHINA AND ITS RELATED FACTORS

Tan Zi-xun　Huang Xin-yu
(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica)
Wang Shen
(Wuhan University)

Abstract

In this paper, data of ionospheric *Es-s* over Wuchang, China are analyzed and theoretical investigation are made. It shows that:

(1) The occurrence of *Es-s* is in proportion to a factor

$$K = \frac{1}{G}\left(\overline{f^0E}/f_{\min}\right)$$

(2) The occurrence of *Es-s* is also clearly influenced by the power of the equipment used.

(3) *Es-s* seems to be a phenomenon in non-magnetically disturbed days, which is due to the fact that the observability is limited by the high $f_{\min}$ in disturbed days.

(4) Proper related phenomena exist both as "the prelude" and "the postlude" to the occurrence of *Es-s* over Wuchang. Generally, there also exists stratification due to acoustic gravity waves. Judging from these and other ionospheric features over Wuchang, the lunar effect may serve as a common source.