第5卷 第3期 空间科学学报 Vol. 5, No. 3
1985 年 7 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE July, 1985

1982 年 9 月 4 日耀斑的电离层效应

谭子勋 黄信榆
（中国科学院武汉物理研究所）

摘 要

本文对 1982 年 9 月 4 日大型双带型耀斑所引起的电离层、地磁瞬时效应与后效进行了综合研究，其结果特征显著，这可能与此次磁暴变化十分剧烈有关.

一、引 言

1982 年发生了几次大磁暴，其中 7 月 13 日磁暴是近五、六十年中最大的一次；9 月 5 日磁暴仅次于 7 月 13 日和 1972 年 8 月 4 日的磁暴. 本文以 1982 年 9 月 5 日磁暴为主，从耀斑爆发所引起的以及相继发生的与磁暴相关的电离层暴进行了个例的综合研究；并比较了它与过去统计特性的差异，讨论了差异形成的可能原因.

为方便叙述，文中称耀斑引起的即时效应如 SIDs 等为耀斑的瞬时效应，与耀斑相对应的电离层暴与磁暴为耀斑后效.

二、9 月 4 日耀斑特征及其瞬时效应

1982 年 9 月 4 日 0030 时起出现了双带型大耀斑.（文中除单独注明者外，时间均为 UT）从地球物理效应的角度而言，其主要特点首先是寿命长，断续出现达几个小时，每次出现持续一个小时以上；其次是耀斑在太阳圆面上的视面积大，为通常耀斑的几十倍到一百多倍. 耀斑后几分钟，即引起了瞬时效应，地磁磁照图上 0038 时左右可见钩扰. 电离层观测间隔为 15 分钟，作为这种瞬时效应反应指示之一的频高图上最低频率 f_{min} 与频高图上各频段的干扰描述，以 0100 时的变化为显著. 表 1 为武昌几个台站 0100 时的 f_{min} 变化.

当然，吸收增加的情况还与设备因素有关，但从各地吸收增加程度仍可看出其特点，即耀斑时，太阳天顶角较大的武昌与冲绳两地的吸收增加最少，这显示了太阳耀斑时对电离层影响的经度效应（尤以早晚更甚）. SID 只出现于耀斑存在时地球的向阳面，与太阳高度有关，但关系如此密切，实值重视. 可以推知，同一地方时间出现的同类耀斑，其电离层效应，夏季比冬季大，正午比早晚大，这为 SID 时拟定与选用短波通信路径，提供了理

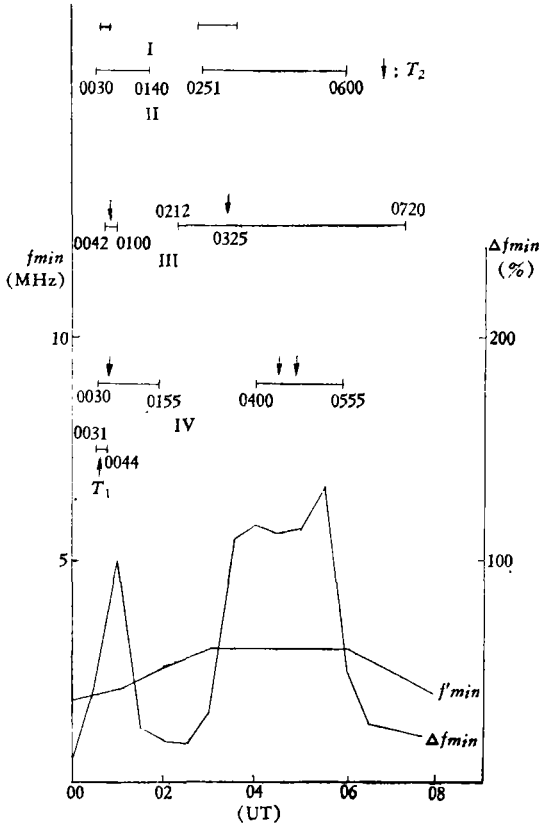
本文于 1983 年 12 月 26 日收到.

表 1　武昌等台站 0100 时的 f_{min} 值

站　　名	武　昌	冲　绳	山　川	国分寺	秋　田	稚　内
台站座标	114°22′E 30°32′N	127°48′E 26°17′N	130°37′E 31°12′N	139°29′E 35°42′N	140°08′E 39°44′N	141°41′E 45°24′N
9 月 4 日的 f_{min} 值 (MHz)	4.2	5.2	5.2	全吸收	4.6	5.2
增加幅度(%)	100	116	160		142	160

论依据.

此次耀斑如图 1 所示. 反映电离层吸收变化的 f_{min} 值也呈复杂形态. 然而，所有瞬时效应与耀斑 2 级以上的分米波射电爆发对应甚好. 诚然，分米波射电爆发不会是引起瞬时效应的直接原因，但是，它与引起电离层 D 区域电离突增而导致 SID 的硬 X 射线爆发，同是耀斑过程中脉冲相阶段的产物[1].



$\Delta f_{min} = \frac{f_{min} - f_{min月中值}}{f_{min月中值}} \times 100\%$，I：大于 2 级的太阳分米波爆发，II：2 级 G 型短波衰落，III：10.3cm 太阳射电爆发，IV：$H\alpha$ 耀斑，T_1：地磁钩扰时刻，T_2：峰值时刻，f'_{min} 为 $f_{min月中值}$

图 1　9 月 4 日电离层 f_{min} 的变化(武昌)

Fig. 1　Variations of ionospheric f_{min} of Sept. 4, 1982 (Wuchang, China)

三、9 月 4 日耀斑后效

从电离层吸收角度而论，9 月 5 日、7 月 13 日暴的前一天的耀斑以及与之邻近的 7 月 9 日耀斑，均即时引起了大幅度的 f_{min} 变化，尤以 7 月 9 日与 7 月 12 日更甚. 然而，它所引起的地磁变化却以 7 月 9 日耀斑引起的 7 月 11 日磁暴为最弱，其差异集中表现在耀斑时 10.3cm 太阳射电爆发上(表2). 由此看来 10.3cm 射电爆发的持续时间再加上耀斑视面积的大小，似可作为耀斑能否引起电离层暴和磁暴的量度.

9 月 4 日耀斑持续时间长，视面积大，此种耀斑辐射能量大，必然会引起电离层、地磁场的激烈变化. 在耀斑出现 40 多个小时以后，各地磁台均于 9 月 5 日 2249 时左右记录到强大磁暴，武汉台 H 分量最大幅度达 399γ；与此相对应，电离层也发生了激烈变化.

图 2 为磁暴前后文中各台的 f_0F_2 变化和武昌台的 H 变化. 从各台相同的变化趋势

表 2 几次耀斑时的 10.3cm 射电爆发情况

日 期	10.3cm 射电爆发每次持续时间(min)	总持续时间(min)	磁暴情况	
			持续时间 (h)	H最大幅度 (γ)
7月9日	1.2, 20.2, 88	109.4	~17	125
7月12日	26, 22.5, 229.5, 11.5, 108.7	374.8	~52	718
9月4日	17.8, 298	315.8	~46	399

看,均超前磁暴两个多小时开始了相位一致的电离层暴. 此时,除稚内以外,变化均不大,6日0800时以后变化才趋激烈. 0800时以前的变化尽管幅度不大、程度不等、正负不一,但变化相位基本一致. 当然,某些时候,也显示出相位上的一些超前或落后(由于只取整点值,难于作时间上的精确估计). 不同经纬度的各台,同时基本上取上述一致的变化相位,表明存在另外一种力的作用. 从其变化的大致周期与波动形变化趋势看,应是声重力波的影响,它发生于磁暴期间,叠加在原来暴的变化上,对原变化起着调制作用.

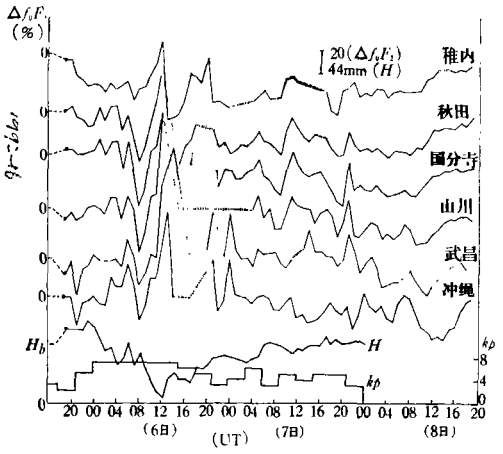


图 2 9月5日磁暴时电离层 f_0F_2 变化.

Fig. 2 Variations of ionospheric f_0F_2 during geomagnetic storm of Sept. 5, 1982

6月0800时起,电离层变化进入激烈阶段,F层出现强扩展及f_0F_2显著增加.各台1200时的 Δf_0F

$$\left(\frac{f_0F_2 - f_0F_{2\,\text{月中值}}}{f_0F_{2\,\text{月中值}}} \times 100\%\right)$$

均为正值,增加最大达83%; 若以该时刻前后一、两个小时作为参考,则变幅均在50%以上. 应强调指出的是, Δf_0F_2 显著变化之时, 就是后面将指出的夜间分层出现之际. 地磁变化恢复正常以后十多个小时, f_0F_2 方趋于正常. 总的说来, 此次电离层暴时 f_0F_2 的变化特点是:

1. 与磁暴几乎同时开始,恢复却迟十多个小时. 虽然电离层变化早一、两个小时, 但由图2下部可见,这一时段的 Kp 也由2突增至5; 因此,仍与地磁变化有关.

2. Δf_0F_2 变化甚大,最大达 107%; Δf_0F_2 的大值主要在夜晚. 此时日照作用消失, 地磁变化成为主要控制因素.

3. 在暴期间, Δf_0F_2 的变化相位几乎与H分量一致; 亚暴的控制作用很明显, Δf_0F_2 的变化最大值出现在亚暴后一、两个小时.

4. 由于受磁暴期间所发生的声重力波的调制,不论台站纬度如何,虽然 Δf_0F_2 正负不一,但 Δf_0F_2 的变化相位各台基本一致.

四、磁暴过程中的夜间分层事件

与 9 月 5 日相关的电离层暴的另一特点是，文中各站于 6 日的夜晚记录到 k 型 Es (Es-k)．根据国际电离层探测网咨询委员会 1975 年 8 月 Lima 会议的重新规定，所谓 Es-k 即为粒子 E 层，系粒子沉降到 E 区域所形成的 E 区域厚层[2]．此次夜间 E 层的情况如表 3 所示．

表 3　夜间 E 层出现情况

站　名	夜间 E 层出现时间	其　它
稚　内	9 月 6 日 2200—9 月 7 日 0115 (135°EMT)	
秋　田	9 月 6 日 2200—9 月 7 日 0215 (135°EMT)	
国 分 寺	9 月 6 日 1945—9 月 7 日 0045 (135°EMT)	与 E_s-k 同时存在有 E_s-l, E_s-c, E_s-h; 0045 后有 E_s-f
山　川	9 月 6 日 2330—2345 (135°EMT)	E_s-k 出现前后，有强 E_s-f
冲　绳	9 月 6 日 2045—2315 (135°EMT)	E_s-k 出现前后，有强 E_s-f
武　昌	9 月 6 日 1945—2030; 2145—2330; 9 月 7 日 0015—0100 (120°EMT)	E_s-k 不存在时刻有 E_s-f

(表中数据除武昌外，均据日本邮政省电波研究所"电离层月报"第 34 卷第 9 期.)

由表 3 可见，各台记录到 E_s-k 的特点是：

1. 纬度居中的国分寺连续记录到 E_s-k 的时间最长，在其两侧的台站则显然不同．

2. E_s-k 出现的时段内，纬度低于国分寺的武昌、冲绳和山川不是出现 E_s-k 就是有 E_s-f 的加强或新的强 E_s-f；纬度较高的稚内和秋田所记录到的 E_s-k 虽连续未断，但 E_s-k 的出现比国分寺起始迟，结束晚．

E_s-k 出现的相应时段内，E_s-f 与 E_s-k 相间存在，可作如下理解：首先，高度较低的 E_s-f 遮盖了 E_s-k，实际上 E_s-k 可能存在，只是没有观测到；其次，由于各型 E_s 的高度范围相对固定[4]，而 Es 的电离又与其背景电离区域 E 层的电离有关，这时上述有些台站的 E_s-k 由于条件改变，电离浓缩而厚度变薄，形成电离密度较大的 E_s-f；第三，若注意到这时无论是 f_0E_s 还是 f_bE_s 与该时刻的月中值相比，或与 E_s-k 事件邻近时刻的值相比均超过 20% 甚至几倍这一事实，似可认为 E_s-f 主要也是由于粒子沉降而产生或加强，不过这时沉降粒子所达到的高度更低而已．E_s-k 与 E_s-f 相间主要出现于纬度较低的台站，尤其是山川和冲绳主要是出现强 E_s-f，而纬度高于国分寺的台站则无此现象．说明在较低纬度，粒子沉降的高度更低．7 月 13 日的磁暴也与此类似，虽然在磁暴过程中未记录到 E_s-k，但都记录到了 f_0E_s 甚高、反射次数甚多的强遮盖型 E_s．

关于武昌上空粒子沉降的可能性，文献 [5] 曾作过推断，并对由此产生的夜间 E 层与

夜间 F 分层进行过频高图实例分析*[6]. 图 3 是此次磁暴时武昌台记录到的夜间分层实例，不仅有夜间 E 层(由于无线电干扰看不到)，还有 E_2 和 F_1 层，与白天的完整记录无甚区别，极为罕见.

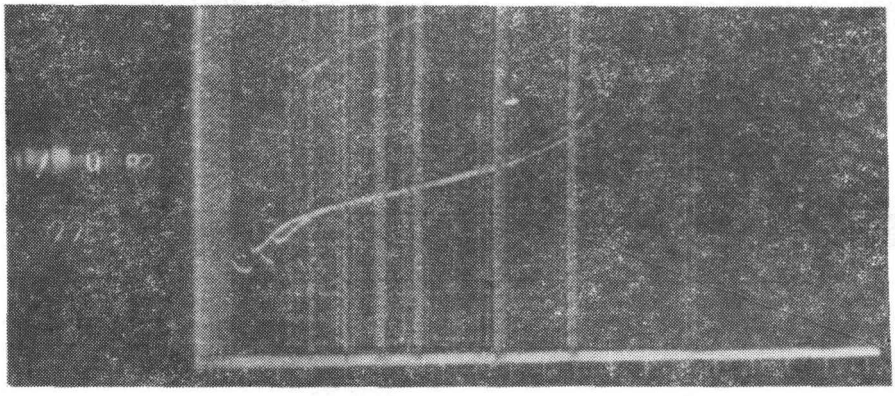


图 3 9 月 5 日磁暴时的电离层夜间分层(武昌)

Fig. 3 Nighttime ionospheric stratifications during geomagnetic storm of Sept. 5, 1982 (Wuchang, China)

对照磁照图，此次粒子沉降事件也与极区亚暴关系密切. 夜间 E 层出现前一、二个小时和夜间 E 层期间，同样有极区亚暴或持续一、二个多小时的地磁 H 分量的急骤变化(由于地磁变化甚速，难于分辨亚暴，姑且称此为类亚暴). 7 月 13 日磁暴中出现亚暴或类亚暴后一、二个小时，也出现显著加强的 E_s 层. 由此可见，在这一地区的 E_s 中，有些与地磁活动关系密切，主要是由亚暴或类亚暴时粒子沉降所引起. 当然，亚暴时低纬度电离层电场改变的作用也不容低估，亦应是不可忽视的因素.

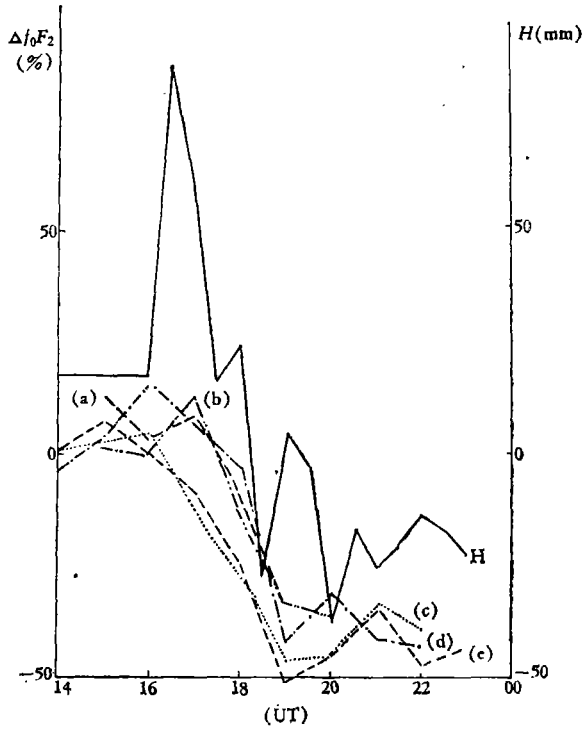
五、电离层暴的起始时间及变化相位

与磁暴相关的电离层暴的起始时间与相位问题，仍沿用松下等的统计结果. 认为正相电离层暴主要出现于低纬，负相电离层暴主要发生在高纬[7]；或认为在中纬，若磁暴发生在白天，则电离层暴中午后为正相，接着是负相，如起始于夜晚而主相又强，则当夜就有负相电离层暴[8,9]. 从 9 月 5 日与 7 月 13 日的暴而言，磁暴分别起始于白天 (2249 时) 和邻近半夜 (1618 时)，但电离层暴与磁暴几乎同时开始(参看图 2 与 4).

至于变化相位，7 月 13 日暴一开始，各站均为负相，变化也十分大 (图 4)；9 月 5 日暴的正相主要出现在 6 日夜晚. 值得提出的是，这时正是极区亚暴后一、二个小时且有夜间分层. 从频高图看，正相的出现似乎是由于降温使层浓缩而致 f_0F_2 增加. 然而，根据剖面计算结果 (表 4) 并非如此.

从 Δf_0F_2 主要正相期间和前后的 F 扩展看，导致 f_0F_2 大幅度增加的同时，F_2 层峰下电子总浓度也增加 68% 的原因，也似应是粒子沉降；当然也必须计及等离子层与电离层

* 谭子勋和黄信榆，武汉物理所集刊，第 1 期，第 9 页，1982.



(a) 秋田台，(b) 稚内台，(c) 山川台，(d) 国分寺台，(e) 冲绳

图 4　7 月 13 日磁暴初期的 f_0F_2 变化

Fig. 4　Variations of the f_0F_2 during earlier stage of geomagnetic storm of July 13, 1982

的等离子交换的加速作用．因为地磁变化剧烈时，粒子沉降带的纬度与高度均可能扩大，而等离子交换作用也会加强．总之，与这两次磁暴相关的电离层变化特征明显，主要是由于磁暴很强，增强了它对电离层的控制作用．

表 4　正相及其邻近期间有关数据

时间 (120°EMT)	f_0F_2 (MHz)	F_2 层峰下电子总浓度 (ele/cm²)	F_2 层峰值高度 (km)	增加幅度(%)
1645	9.9	1.11	385	68
2000	15.1	1.87	438	

六、结　论

本文所讨论的耀斑效应可综述如下：

1．耀斑时分米波射电爆发实际上可作为耀斑的电离层地磁瞬时效应的某种判据，这与分米波爆发发生于耀斑脉冲相有关；从其对电离层暴与磁暴的影响看，分米波射电爆发

时间的长短加上耀斑视面积的大小似可作为其能否引起电离层暴与磁暴的量度.

2. 耀斑对某一地区电离层的影响,与耀斑时该地的太阳天顶角关系较密,这为 SID 期间选择短波通信线路提供了理论依据.

3. 磁暴强弱很大程度上影响着与之相关的电离层暴的起始时间、相位变化. 不论此时 Δf_0F_2 为正或负,由于受到磁暴时诱发的声重力波的调制,与其相邻时刻的值比较,则中纬或低纬地区的 Δf_0F_2 具有相同的变化相位.

4. 此次磁暴在远东一带引起了地域范围较广、高度范围较大的粒子沉降,在频高图上的主要显示是出现了夜间分层或原来 E_s 层的加强以及与夜间分层相间产生新的强 E_s 层. 这种粒子沉降与极区亚暴或类亚暴有关.

上述特征的形成,与这次磁暴极其强大有关. 这又一次表明,继续进行一些暴的特例的综合研究极为重要;各个特例可从不同侧面反映与揭露事实真相,是对暴形态的统计研究结果的一种重要补充.

参 考 文 献

[1] Heyvaerts, J., E. R. Priest and D. M. Rust, *Ap J.*, Vol. **216**, p. 123, 1976.

[2] Piggott, W. R., High-latitude Supplement to the URSI Handbook on Ionogram Interpretation and Reduction, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colorade, p. 243, 1975.

[3] Voss, H. D. and L. G. Smith, *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **42**, p. 227, 1980.

[4] Pfister, W. and J. C. Ulwick, *J. Geophys. Res.*, Vol. **63**, p. 315, 1958.

[5] 黄信榆,谭子勋和王燊,地球物理学报,第 **25** 卷,第 379 页, 1982.

[6] 谭子勋和黄信榆,地球物理学报,第 **27** 卷,第 8 页, 1984.

[7] Reddy, C. A., *J. Geophys. Res.*, Vol. **73**, p. 5627, 1968.

[8] Thomas, L., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **28**, p. 599, 1966.

[9] Mendillo, M., *Planet. Space Sci.*, Vol. **21**, p. 349, 1973.

Ionospheric Effects of Solar Flare of Sept. 4, 1982

Tan Zi-xun Huang Xin-yu

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract

In this paper, ionospheric and geomagnetic transient effects and after-effects caused by the large solar flare with two bright branches of Sept. 4, 1982 are analyzed comprehensively. The results show that most of the effects are remarkable. It may relate to the particular severity of this magnetic storm.