

文章编号:1673-8411 (2014) 04-0077-06

2013 年 5 月强太阳耀斑期间横县电离层特征的分析

马继华¹, 杨宇红¹, 李乃标²

(1.南宁市气象局, 广西 南宁 530028; 2.横县气象局, 广西 横县 530300)

摘要:通过对 2013 年 5 月 4 次强太阳耀斑爆发期间横县电离层测高仪的电离图和 SAO 数据进行分析,结果表明:(1)在 5 月 13-15 日 4 次 X 级的强耀斑过程中,其中有 3 次电离图上出现了 0.5-2 小时的描迹线消失过程。(2)每一次描迹消失的起始时间与太阳耀斑爆发的起始时间存在一定的滞后关系,一般在太阳耀斑爆发 5-20 分钟之后,电离图描迹线才会开始消失,而当耀斑事件停止时,描迹线恢复也会相应的滞后。(3)横县上空的电离层在当地时间上午时段的吸收现象较晚间时段的明显。

关键词:电离层,强耀斑,测高仪,描迹消失

中图分类号:P49

文献标识码:A

Ionosphere characteristics during the strong solar flares of Heng County in May 2013

Ma Ji-hua, Yang Yu-hong, Li Nai-biao

(1.Nanning Municipal Meteorological Service, Nanning Guangxi 530028;

2.Hengxian County Meteorological Service, Hengxian Guangxian 530300)

Abstract: Based on the analysis of ionization figure graphics of ionosphere altimeter and SAO data during the strong solar flare bursting period on May 4 2013 in Hengxian, it is concluded that: (1) there are 3 ionization figures appearing 0.5 -2 hours of tracing line disappearing process during 4 strong flare processes of X level from the May 13 to 15; (2) there are certain hysteresis between each start time of tracing disappearing and the start time of solar flare bursting, ionization figure tracing line generally begin to disappear after 5~20 minutes of solar flare bursting, and when a flare events stops, tracing line recovery will also correspondingly lag; (3) ionospheric absorption phenomenon above Hengxian is more obvious in day than that in the evening.

Key Words: ionosphere; strong flare; altimeter; tracing disappearing

1 引言

地球电离层是近地大气和外层空间连接的纽带,电离层与中高层大气区域是人类空间活动最主要的场所,是载人航天的运行环境,也是大多数人造卫星、飞船的运行或穿越区域。因此,电离层处在空间天气研究的关键环节^[1],是空间物理很重要的研究对象,是空间环境的重要组成部分,也是空间物理由基础研究向相关应用研究转化的主要内容之一。电离层的变化主要起源于太阳活动,在太阳耀斑爆

发期间产生的紫外辐射和 X 射线会电离大气电离层中的中性气体分子,产生大量的正离子和自由电子,导致电离层中电子密度含量增加,从而对无线电信号的传播产生严重的影响,使得卫星定位和导航的精度受到影响^[2]。贺龙松等^[3]利用南极中山站成像式宇宙噪声接收机的观测结果进行分析,定量给出电离层吸收和 X 射线耀斑强度的对应关系,同时,用北极站的观测数据进行对比得到了在理论和观测上都较为一致的结论。

随着 GPS 数据在太阳耀斑对电离层影响研究

中的广泛应用,国内学者在太阳耀斑对电离层影响方面作了许多研究工作。张东和等^[4]分析了一次大耀斑事件 GPS 的观测数据,指出耀斑爆发期间造成的大空间范围电离层电子浓度(TEC)增幅的大小与星下点的地方时有直接关系,地方时上午的增幅要比下午明显。乔学军等^[5]进一步指出太阳耀斑对电离层的影响还与纬度有关,纬度越低影响越大,且下午电离层对耀斑的响应较强烈。叶宗海等^[6]通过分析 1978–1979 年 1 级以上太阳耀斑期间电子含量的变化,给出了不同持续时间、不同亮度、不同季节、发生在日面不同位置上的太阳耀斑对 TEC 的影响。

2 数据观测和来源

南宁横县站 (22.7°N,109.25°E) 布设了 CAS–CADI 电离层测高仪,该设备通过向空间垂直发射高功率射频脉冲并接收电离层回波来实现探测功能,

扫频范围为 1~30MHz,探测高度为 90~1024 km, CAS–CADI 数字电离层测高仪不仅能进行虚高测量,还可对信号幅度、极化、多普勒频移、到达角和漂移等多种参量测量,观测研究电离层结构与运动,并能实现频高图的自动度量分析和数据网上传输发布,开展大范围电离层空间环境的实时监测和分析。本文选用的 SAO 数据文件变量信息包括起测频率(fmin)、F2 层寻常波临界频率(foF2)等。

3 2013 年 5 月太阳耀斑活动表

2013 年 5 月太阳活动频率较高,其中月内共爆发了 14 次 M 级和 4 次 X 级软 X 射线耀斑,其中强耀斑级别分别为 X1.7、X2.8、X3.2 和 X1.2,且均发生于太阳活动区 11748。图 1 为 GOES 卫星对 2013 年月 13–16 日太阳 X 射线的监测结果(本文若未特别说明,所用时间均为世界时 UT)。

表 1 2013 年 5 月中等以上耀斑事件^[6]

日期	开始时间	峰值时间	结束时间	级别	活动区	日期	开始时间	峰值时间	结束时间	级别	活动区
02	04:58	05:10	05:19	M1.1	11731	13	11:57	12:03	12:09	M1.3	11748
03	16:39	16:55	17:22	M1.3	11731	13	15:48	16:05	16:16	X2.8	11748
03	17:24	17:32	17:41	M5.7	11739	14	00:00	01:11	01:20	X3.2	11748
05	17:42	17:56	17:58	M1.4	11739	15	01:25	01:48	01:58	X1.2	11748
10	00:44	00:57	01:08	M3.9	11745	16	21:36	21:53	22:03	M1.3	11748
10	12:37	12:56	13:04	M1.3	11745	17	08:43	08:57	09:19	M3.2	11748
12	20:17	20:32	21:03	M1.9	11748	20	05:16	05:25	06:03	M1.7	11755
12	22:37	22:44	22:52	M1.2	11748	22	13:08	13:32	14:08	M5.0	11745
13	01:53	02:17	02:32	X1.7	11748	31	19:52	20:00	20:06	M1.0	11760

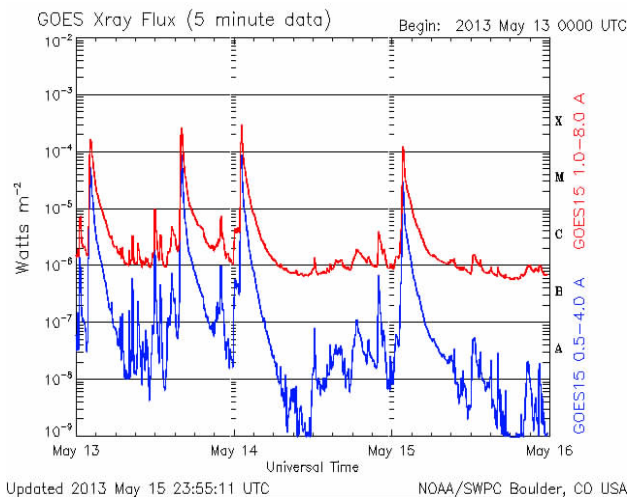


图 1 GOES 卫星监测结果

2013 年 5 月 13–16 日,X 射线流量出现了四次峰值,时间上分别对应了 13–15 日期间所发生的 4 次 X 级别的强耀斑(图 1)。

4 电离图分析

本文利用横县电离层测高仪的监测数据,对 2013 年 5 月 13–15 日太阳耀斑的电离层特征进行了分析。以 2013 年 5 月 13 日电离层测高仪观测数据(每 15 分钟观测一次)为例。13 日 01:53,太阳活动区 11748 区发生了强度级别为 X1.7 的强耀斑事件,02:00 电离图仍然能看到明显的描述迹线(图 2(b)),但较前一个时次(图 2(a))描述迹线开始模糊,表明强耀斑爆发产生的射线已经开始影响电离层;02:17,此次耀斑达到顶峰,此时强度达到峰值的紫

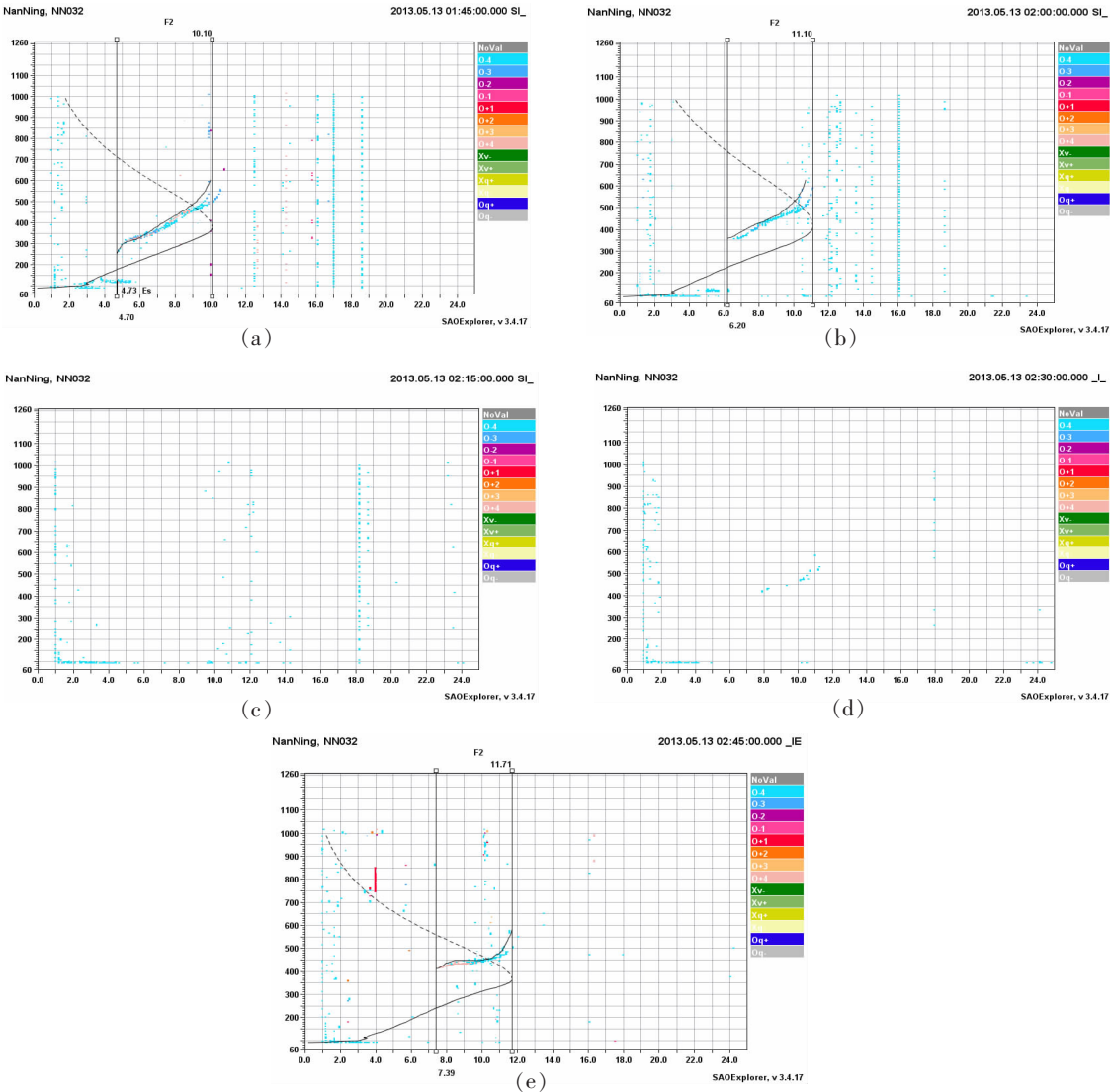


图 2 电离层测高仪 2013 年

5 月 13 日 01:45(a)、02:00(b)、02:15(c)、02:30(d)、02:45(e)电离图

外辐射及 X 射线加速了对大气中中性粒子的电离,从而使横县上空电离层中的 D 层和 E 层电子浓度急剧上升,吸收了测高仪发出的高频电磁波,因此,电离图描迹线完全消失(图 2(c)),此时距耀斑事件开始已有 22min;02:32,此次强耀斑事件结束,电离层 D 层和 E 层当中的电子浓度缓慢下降,电离图中开始出现模糊的描迹线(图 2(d)),随着电子浓度进一步下降,描迹线完全出现(图 2(e))。此时距耀斑事件结束已有 13min。(见图 2)。

2013 年 5 月 4 次 X 级强耀斑活动中,13 日的 X2.8 级强耀斑爆发时间为北京时间 00:00 时前后,此时,横县离太阳日下点较远,而其余 3 次强耀斑爆发时间为北京时间 08:00–10:30,横县均离日下点

较近,紫外辐射和 X 射线更容易影响大气电离层,使大气中的中性粒子电离过程更加剧烈,从而增加了电离层中的电子浓度,阻碍了测高仪高频电磁波的传播,因此,电离图出现了以上所述的描迹缺失现象(图 3(a)、图 3(c)、图 3(d)),而第二次耀斑事件并没有造成描迹缺失(图 3(b))。

对 5 月 13–15 日 3 天的电离图进行度量之后,分别得到 13–15 日 3 天电离层测高仪最低频率 f_{min} (在电离图上记录到的反射回波的最低频率)及 F2 层的回波频率分布情况。在 13 日 X1.7 级、14 日 X3.2 级、15 日 X1.2 级强耀斑事件过程中,电离层出现了强烈的吸收现象,特征图中记录不到耀斑事件时段 f_{min} 层及 F2 层的回波频率。而 13 日 X2.8 级

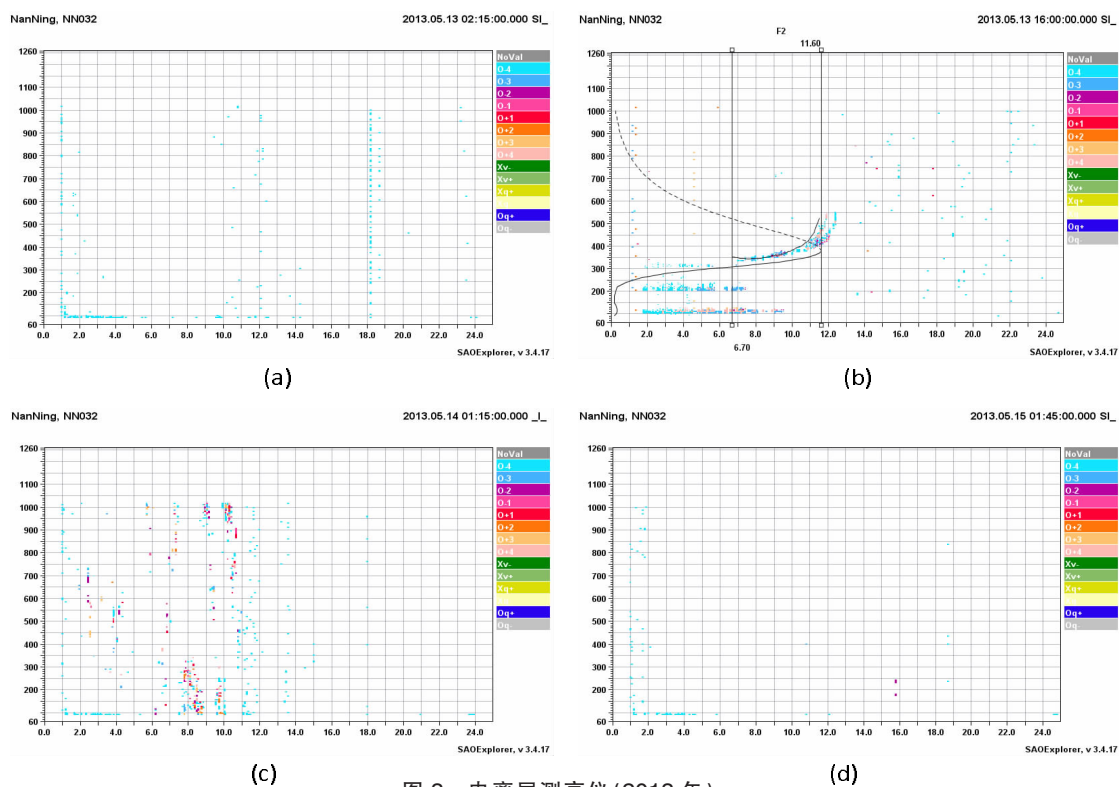
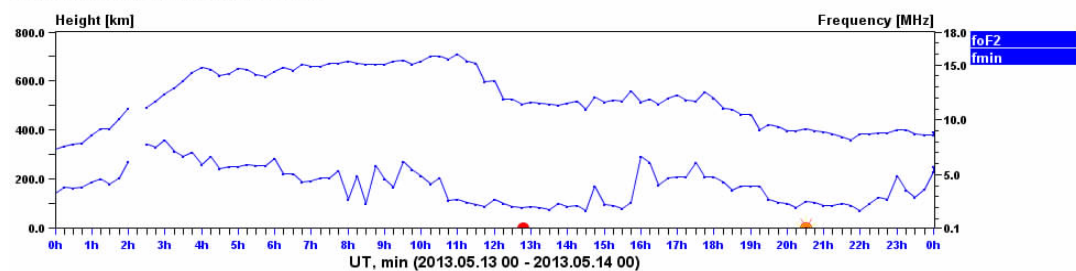


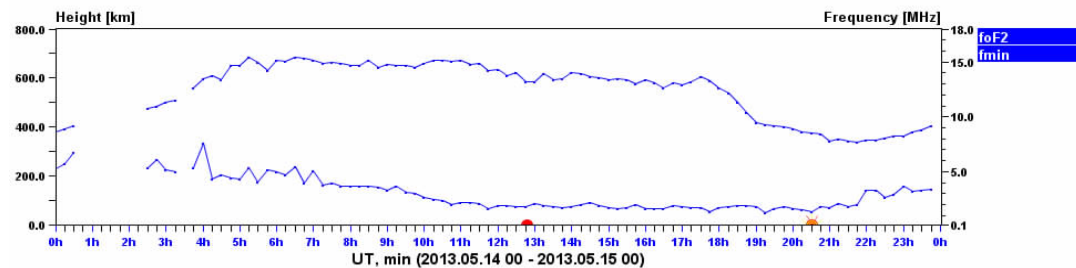
图3 电离层测高仪(2013年)

5月13日2:15(a)、16:00(b)、5月14日01:00(c)、5月15日01:45(d)电离图

Characteristics, NN032, DPS-4S, SAOExplorer, v 3.4.17



Characteristics, NN032, DPS-4S, SAOExplorer, v 3.4.17



Characteristics, NN032, DPS-4S, SAOExplorer, v 3.4.17

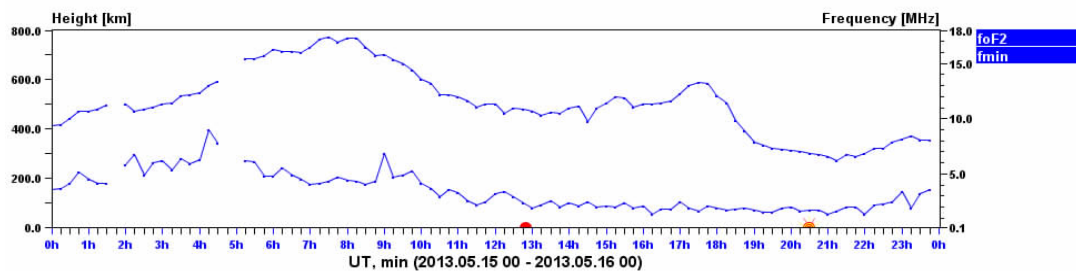


图4 2013年5月

13日、14日、15日电离层foF2、fmin特征图

的耀斑爆发之后, 特征图中的相应时段仍然能记录到 f_{min} 层及 F2 层回波频率。(见图 4)

在分析 14、15 日 2 次 X 级别的强耀斑事件时, 发现了一个特别的现象。在强太阳耀斑爆发造成的电离图描述迹线消失之后的数个小时内, 电离图仍然

出现了 1–2 个时次图像的模糊甚至消失的情况, 随后电离图又恢复正常。这种现象在 15 日耀斑事件结束后尤为明显, 电离图中的 F 层几乎全部消失, 取而代之的是出现了 Es 层(见图 5)。

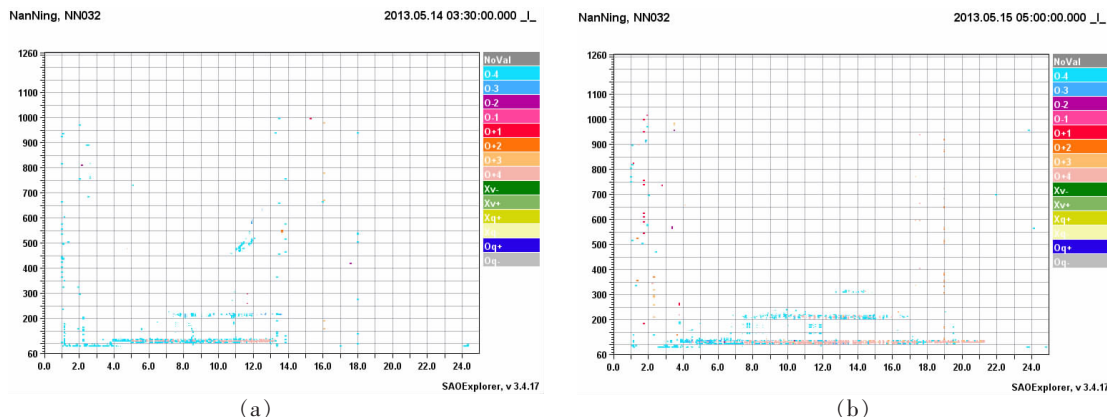


图 5 电离层测高仪 2013 年
5 月 14 日 3:30(a)、5 月 14 日 05:00(b)电离图

5 分析小结

根据横县电离层测高仪电离图分析结果, 结果表明: (1) 2013 年 5 月 13–15 日 4 次太阳耀斑爆发后, 电离图上出现了 3 次强烈的电磁波吸收现象。其中, 5 月 13–15 日的 X1.7 级、X3.2 级、X1.2 级的强耀斑过程, 电离层均出现了 0.5–2 小时的电离层吸收过程。 (2) 14 日 X3.2 级的太阳耀斑事件持续了将近 1.5 小时, 同时也造成了电离图描述迹消失达 2 小时。 (3) 描述迹消失的起始时间与太阳耀斑爆发的起始时间存在一定的滞后关系, 一般在太阳耀斑爆发 5–20 分钟之后, 电离图描述迹线才会消失, 而当耀斑事件停止时, 描述迹线恢复也会相应的滞后。 (4) 13 日 15:00–16:00(UT) 对应的 X2.7 级的耀斑事件, 并没有造成强烈的电离层吸收现象。

在太阳耀斑爆发期间, 太阳能量会突然增强, 其中 X 射线和 EUV 一些波段的太阳辐射也相应增强, 将向日面地球低层大气电离, 使得向日面电离层 D 层、E 层的电子密度显著增加, 从而增大了电子与中性成分粒子的碰撞概率。而电子和中性分子碰撞, 会吸收电波的一部分能量。因此, 在太阳耀斑爆发后, 高频的电波能量在穿过或者在电离层 D 层和 E 层反射时会被吸收^[9–10], 严重时电波电信号完全消失。这也解释了太阳耀斑爆发期间电离图中描述迹消失的现象。

5 月 13–15 日 4 次强耀斑爆发事件中, 13 日 15:48 (UT) X2.8 级耀斑爆发时对应北京时间 23:48, 此时测站离日下点较远, 而其余三次离日下点均较近, 因此第二次强耀斑事件电离层吸收程度远小于其余三次。仅对这 4 次强耀斑事件电离层的响应情况来说, 当地时间的上午时段电离层对太阳耀斑响应较夜间强烈, 这个结果与张东和等^[4]的结论较一致, 而与乔学军等^[5]的结论相反。对此, 国外有学者指出, 电离层对耀斑的响应程度与耀斑相对日面中央子午线的位置有关, 当耀斑的发生位置与日面中央子午线所成的角度小于 45° 时, 电离层对太阳耀斑响应的可能性大大增加^[8]。

值得注意的是, 14、15 日的两次 X 级的耀斑事件结束后, 又出现了电离图描述迹线短暂的模糊或消失的现象, 而在 100Km 附近出现了 Es 层(见图 5)。国外曾经有学者指出, Es 层很薄, 通常表现为半透明性质, 而 Es 本身在一个很宽的频率范围内反射电波, 同时也有部分能量透射过去, 从其上部的电离层反射回来^[11]。而且 Es 的电子密度很高, 其电子浓度可以远远高于常规的 E 层, 有时可以超过 F 层的峰值密度^[12], 以至于遮蔽电离图中常规的 E 层描述迹以及部分或全部 F 层描述迹, 而目前关于 Es 的形成机理也尚未被完全认识。

致谢: 本文在完成过程中得到了国家卫星气象中心(国家空间天气监测预警中心)王云冈老师和吕

景天老师的指导和帮助,特此致谢两位老师。

参考文献:

- [1] Moldwin M. 2008. An Introduction to space weather [J]. Combidge: Cambridge University Press.
- [2] 崔书珍, 周金国, 彭军还. 基于 GPS 的 2003 年 10 月 28 日太阳耀斑的电离层响应研究 [J]. 测绘科学, 2009, 34 (5): 56
- [3] 贺龙松, M.Nishino, 张北辰等. 太阳耀斑和相关电离层吸收事件 [J]. 科学通报, 2000, 45 (17): 1822-1828
- [4] 张东和, 萧佐. 1997 年 11 月 6 日大耀斑期间电离层 TEC 的 GPS 观测结果分析 [J]. 科学通报, 2000, 45 (6): 575-578.
- [5] 乔学军, 郭利民, 林瑞林, 等. 2003 年 10 月 29-31 日太阳耀斑对中国大陆电离层扰动的 GPS 监测与分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25 (2): 41-45
- [6] 叶宗海, 蒋和荣. 太阳耀斑对电离层总电子含量的影响 [J]. 空间科学学报, 1986, 6 (3): 177-183.
- [7] 中国气象局国家空间天气监测预警中心 [J]. 空间天气月报, 2013, (5): 1-6.
- [8] Matsoukas D A, Papagiannis M D, et al. Correlation of solar radio bursts and sudden increases of the total electron content of the ionosphere [J]. J.A.T.P., 1972, 34 (1): 1065-1069
- [9] Stauning P. Investigations of ionospheric radio wave absorption processes using imaging riometertechniques [J]. J AtmosphyTerr Phy, 1996, 58: 753-764.
- [10] Stauning P. D-region observations of polar cap absorption events during EISCAT operation in 1981-1989 [J]. J AtmosphyTerr Phys, 1993, 55: 751-766.
- [11] Davies, K. (1989), Ionospheric Radio, Vol. 31 of IEEE Electromagnetic Waves Series, Peter Peregrinus Ltd, United Kingdom.
- [12] 王劲松, 吕建永. 空间天气 [M]. 北京: 气象出版社, 2010.