

基于 IGS 数据分析台风“利奇马”引起的 电离层 TEC 扰动

宋福成¹, 时爽爽^{1,2}, 史云飞^{1,3}, 周瑞宸¹

(1. 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 临沂大学 资源环境学院, 山东 临沂 276000;

2. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 3. 国土资源部

城市土地资源监测与仿真重点实验室, 广东 深圳 180402)

摘要:文中利用国际 GNSS 服务(IGS)提供的全球电离层地图(GIM)格网电离层资料, 借助滑动四分位距法, 研究了 2019 年台风“利奇马”期间电离层电子浓度总含量(TEC)的异常变化情况. 对台风“利奇马”期间电离层 TEC 时序变化及区域空间变化进行分析, 发现在台风发生前第 5 天, 电离层 TEC 出现了正异常变化; 台风登陆后第二天, 台风影响区域上空电离层 TEC 异常由正异常变化为负异常再变化为正异常, 正异常最大值达 8 TECU, 负异常最大值达 6 TECU, 且最大异常点并不在风眼处, 而是在风眼的西南侧, 此异常可能与台风登陆期间台风风速及风向变化有关.

关键词: 台风; 利奇马; 电离层扰动; 最大风速; TEC

中图分类号: P228.49 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-9268(2020)03-0083-06

0 引言

电离层中存在大量的自由电子和离子, 其生成、消失和输运过程共同决定着带电粒子的密度变化. 除太阳活动和地磁活动外, 中层大气局部环流变化也会影响电离层电子浓度分布. Bauer^[1]最先使用电离层探测仪观测得出飓风来临前测站上空的 f_oF_2 逐渐增加. 沈长寿^[2]和 Huang 等^[3]从统计角度指出电离层与台风、寒潮等对流层天气现象具有相关性. 肖赛冠等^[4]利用电离层多普勒观测对 1988 年和 1990 年两次强台风期间电离层形态中的波状扰动进行了分析, 指出台风影响期间所激发的声重波可以传播到电离层高度并对电离层产生影响. 毛田等^[5]利用 50 余个 GPS 台站的观测资料, 研究了台风“麦莎”对电离层电子浓度总含量(TEC)的影响, 得出台风登陆前一天, 台风及其周边区域的 TEC 与月中值的差值可超出 5 TECU

左右, 台风登陆后, TEC 的增大量和增大区域均减小, 台风登陆一天之后, TEC 达到最小值, 并小于月中值. 余涛等^[6]利用中国气象局厦门电离层监测站的电离层频高图数据, 研究了 2007 年登陆地点在厦门附近地区的 3 次台风登陆事件期间厦门电离层的变化, 分析认为由于台风登陆前后, 强烈的海气、陆气相互作用可能影响到电离层高度, 从而导致电离层 f_oF_2 等参量发生变化及电离层 Es 和扩展 F 等扰动现象出现. 程国生等^[7]通过对台风登陆点以及参考点的电离层 TEC 变化情况进行分析得出, 台风对电离层 TEC 的影响在台风登陆并达到台风量级以及台风风速达到最大这两个阶段最明显, 台风在登陆期间 TEC 增大, 在风速到达最大阶段, TEC 降到最小. Rice^[8]认为在排除地磁和太阳扰动因素后, 台风“茉莉”引起了台风登陆之前电离层 TEC 的显著增加. 许九靖^[9]及闫慧^[10]利用地基 GPS 数据反演高精度 TEC, 并对台

收稿日期: 2020-03-20

资助项目: 山东省自然科学基金(ZR2018PD007, ZR2017BD018, ZR2016DB06); 临沂大学博士科研启动基金(LYDX2016BS110); 国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室开放基金(KF-2018-03-034); 大学生创新创业训练计划(201910452037, 201810452253)

通信作者: 时爽爽 E-mail: 1063178716@qq.com

风登陆前后多天的电离层 TEC 进行分析,认为台风“莫兰蒂”及台风“潭美”期间的电离层 TEC 扰动与台风具有相关性。

从不同学者的研究可以看出,电离层对不同台风的响应存在一定的差异,这与台风发生的时间、地点、强度以及传播路径,还有当时的热层、电离层背景情况及其他地球物理条件均不同有关. 台风对电离层 f_oF_2 的影响因测站距台风的远近而异,而利用地基 GPS 计算的区域电离层 TEC 具有一定的空间范围. 电离层变化复杂,台风对于电离层变化的影响范围不确定,对台风-电离层耦合机制的深入研究需要利用长时间尺度、大范围的连续资料进行分析. 本文利用国际 GNSS 服务(IGS)提供的电离层 TEC 数据,从时间和空间变化上分析台风“利奇马”期间电离层 TEC 的扰动情况。

1 数据和方法

1.1 数据

本文以 1909 号超强台风“利奇马”为研究对象,根据中央气象台台风网数据记载,台风“利奇马”发生在 2019 年 8 月 4—13 日,8 月 4 日生成于 $16.7^\circ\text{N}, 131.5^\circ\text{E}$ 附近,往北西方向移动,8 月 7 日 2:00LT(北京地方时)达到台风强度,17:00LT 升格为强台风,23:00LT 升格为超强台风,并继续向西北方向移动,向浙江沿海靠近,8 月 8 日晚间风速达到极值 62 m/s ,8 月 10 日 1:45LT 左右在浙江省温岭市城南镇沿海登陆,登陆时中心附近最大风速达 52 m/s . 台风“利奇马”登录后沿北西方向逐步向内陆推进,强度迅速减弱,8 月 10 日 20:00LT 降格为热带风暴,22:00LT 时许,“利奇马”由浙江移入江苏境内,8 月 11 日 12:00LT 时许,台风“利奇马”从江苏省连云港市附近出海,移入黄海海面,8 月 11 日 20:50LT 左右,台风“利奇马”在山东省青岛市黄岛区沿海再次登陆,登陆时中心附近最大风速为 23 m/s . 图 1 为台风“利奇马”的路径图。

IGS 可以提供时间分辨率为 2 h ,空间分辨率为 $5^\circ \times 2.5^\circ$ 的全球电离层地图(GIM)格网电离层资料. 在不同太阳活动周期和全球范围内,大部分 IGS TEC 数据的精度都高于 $2\sim 4\text{ TECU}^{[11]}$,满足研究的要求. 本文选取 2019 年 7 月 25 日—2019 年 8 月 23 日的电离层 TEC 数据对台风登陆点及风速极值点上的电离层 TEC 时间序列进行扰动

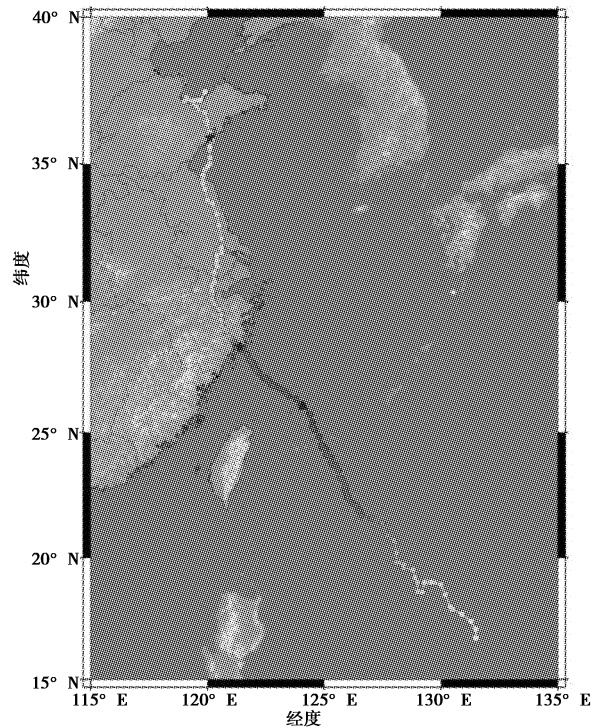


图 1 台风“利奇马”路径图(黄色圆点表示热带低压,金色圆点表示热带风暴,橙色圆点表示强热带风暴,深橙色圆点表示台风,番茄色圆点表示强台风,红色圆点表示超强台风,蓝色五角星表示台风登陆点,蓝色三角形表示台风风速极大值点)

分析. 并对这段时间内全球电离层 TEC 变化进行分析。

太阳和地磁活动是影响电离层 TEC 变化的首要因素^[12]. 太阳活动数据使用太阳 F10.7 射电流量,地磁活动数据使用 Kp 和 Dst 指数. 太阳活动数据来源于中科院空间环境预报中心,地磁 Dst 指数数据来源于日本京都世界地磁数据中心, Kp 指数数据来源于德国地学研究中心。

1.2 方法

在进行 TEC 时间序列扰动分析时,使用四分位距法来确定 TEC 时间序列的上下限值. 刘正彦等^[13]最先提出了四分位距法,该方法综合考虑了平均值法、中位数法的弊端. 假设待探测时段为 T 天(T 能被 4 整除)的电离层 TEC 数据,将该时段内的 TEC 数据由小到大排列,并将其等分为 4 份,其等分点依次表示为 Q_1, Q_2, Q_3 . T 天对应时刻的数据进行排序后,得到 $I_1 < I_2 < \dots < I_T$,用 up 和 low 表示时序的上下限值,则有:

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{1}{2}(I_{\frac{T}{4}} + I_{\frac{T}{4}+1}), \\ Q_2 = M = \frac{1}{2}(I_{\frac{T}{2}} + I_{\frac{T}{2}+1}), \\ Q_3 = \frac{1}{2}(I_{T-4} + I_{T-3}), \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} up = M + 1.5(Q_3 - M), \\ low = M - 1.5(M - Q_1). \end{cases} \quad (2)$$

在对台风期间电离层 TEC 异常变化分析中,背景值使用滑动时窗法来确定.取滑动时窗长度为 16 天,计算滑动时窗内每个时刻点上的均值和均方差,以均值为基础,以 2 倍的均方差为背景范围.若时序值在背景范围之外,则将该时序值剔除,利用相邻内插法计算正常值将其替换.将时窗逐天向前滑动,依次计算背景时间序列.

2 台风“利奇马”期间电离层 TEC 扰动分析

2.1 台风期间日地环境分析

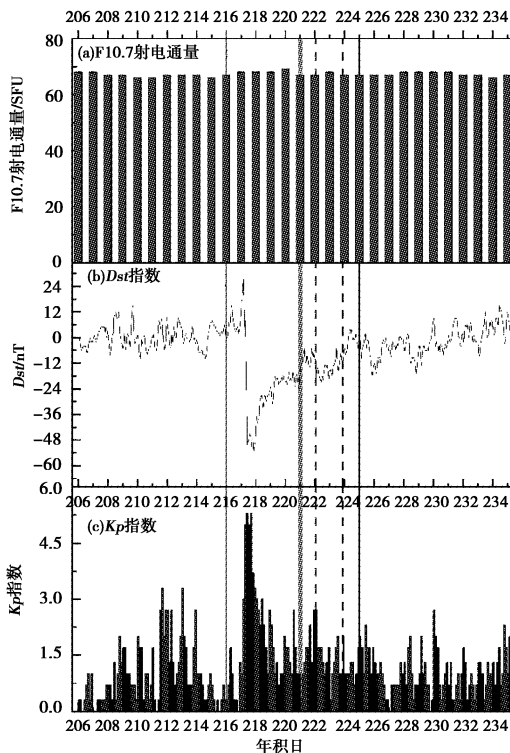


图 2 台风“利奇马”期间日地环境变化(实线表示台风产生及消失时刻,灰色阴影部分表示台风风速极大值时间段,虚线表示台风登陆时刻)

图 2 示出了台风“利奇马”期间日地环境变化,图 2(a)示出了该段时间内太阳活动的变化状态,可以看出 F10.7 射电通量的变化相对较稳定,在年积日 206-235,其值在 66~69 SFU 范围内变化,平均值约为 67 SFU,表明太阳活动强度较低,不会引起明显的电离层扰动.

图 2(b)和图 2(c)分别示出了地磁 Dst 指数和 Kp 指数的变化情况,根据 Dst 指数值的大小可以将地磁活动分为四个等级:低强度(-30~-50 nT),中等强度(-50~-100 nT),高强度(-100~-200 nT)和超强度(<-200 nT).根据 Kp 指数值的大小,可以将磁场活跃度分为四个等级:平静(0~1),较活跃(2~4),有小的磁暴(4~5),有较大的磁暴(>5).从图 2(b)可以看出,在年积日 206-217,地磁 Dst 指数的变化相对保持稳定,Dst 指数在±15 nT 内波动,在年积日 217,地磁 Dst 指数突然由正值变为负值,且小于-50 nT,之后地磁 Dst 指数有逐渐增大趋势,在年积日 219 之后,其值大于-30 nT,并逐渐趋于稳定,在±29 nT 内波动.同时,图 2(c)也表明,在年积日 217 之前,Kp 指数小于 3,在年积日 217,Kp 指数突然增大,最大值达 5.3,之后逐渐减小,在年积日 217 之后变化稳定,其值小于 3.因此,在年积日 217 可能有小的磁暴出现.综上所述,日地环境异常扰动出现在台风风速达到极大值时刻之前,在台风风速极大值期间,及台风登陆时,日地环境相对平静,因此认为该时间段内的电离层 TEC 异常与日地环境扰动无关.

2.2 风速极值点及台风登陆点 TEC 时间序列分析

为了分析台风“利奇马”期间风速极值点及台风登陆点上电离层 TEC 变化,本文利用 IGS 提供的电离层 TEC 数据绘制了 TEC 时序变化图及其异常变化图,并利用滑动四分位距法计算了时序的上下限,如图 3 所示,图中登陆点 1 位于浙江省温岭市城南镇沿海,登陆点 2 位于山东省青岛市黄岛区沿海.

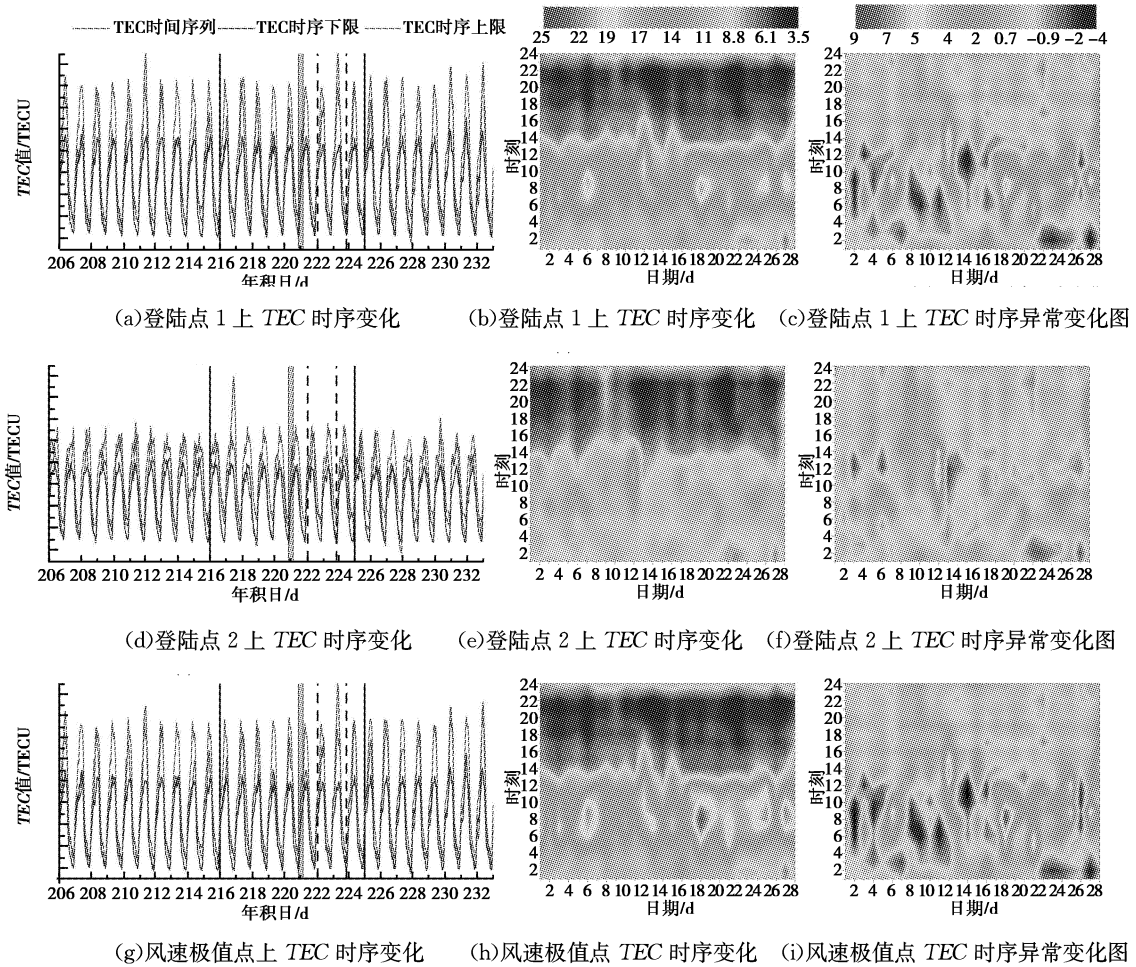


图 3 风速极值点及台风登陆点上电离层 TEC 时序变化及异常变化图((a)、(d)、(g)中实线表示台风产生及消失时刻,灰色阴影部分表示台风风速极大值时间段,虚线表示台风登陆时刻;(b)、(c)、(e)、(f)、(h)、(i)中横坐标表示日期,年积日 206 为第一天,依此类推,纵坐标时刻为世界时)

从图 3(a)、3(d)、3(g)可以看出,在分析时段内三个点位上空电离层 TEC 均出现了不同程度的异常变化.从图 3(a)可以看出,在年积日 211、223、224、230、232 登陆点 1 上空电离层 TEC 出现了正异常变化,在年积日 227 出现了负异常变化;从图 3(d)可以看出,在年积日 211、217、230 登陆点 2 上空电离层 TEC 出现正异常变化,在年积日 218、227 出现负异常变化;从图 3(g)可以看出,在年积日 211、223、230、232 风速极值点上空电离层 TEC 出现正异常变化,在年积日 227 出现负异常变化.从日地环境变化分析来看,在登陆点 2 上空年积日 217 出现的正异常及年积日 218 出现的负异常可能是由地磁活动引起的,其余的异常则认为可能是由台风引起的.台风产生前,三个点位上空电离层 TEC 在年积日 211 均出现了正异常变化,认为是台风来临前的前兆变化.年积日 223—224,台风风速达到极大值之后第二天,风速逐渐减小,

并在登陆点 1 登陆,之后登陆点 1 及风速极值点上空电离层 TEC 出现了较明显的正异常变化.在年积日 227、230,台风消失之后的第二天和第五天,三个点位上空电离层 TEC 同时出现了负异常变化和正异常变化.从图 3(b)、3(e)、3(h)电离层 TEC 时间序列等值线图可以看出,在一天中,电离层 TEC 高值区为 UTC05:00:00—UTC10:00:00(地方时 13:00:00—18:00:00),低值区为 UTC13:00:00—UTC24:00:00(地方时 21:00:00—次日 8:00:00),在低值区电离层 TEC 值变化相对稳定,图 3(b)、3(h)中的高值区扰动明显,在第 6、12、18、25、27 天(对应年积日 211、217、223、230、232)高值区电离层 TEC 值相较于邻近几天明显增大.从图 3(c)、3(f)、3(i)电离层 TEC 时序异常变化图同样可以看出,在年积日 211、217、223、230、232,电离层 TEC 正异常变化明显,异常幅度为 5~8 TECU,相较于正异常变化,负异常变化幅度较小,

异常幅度最大值小于 -3.5 TECU.

2.3 台风期间区域 TEC 变化分析

从对风速极值点及台风登陆点上空电离层 TEC 时序变化及异常变化分析可知,正异常变化明显的时段包括年积日 211UTC08:00:00—

UTC11:00:00,年积日 223UTC05:00:00—UTC10:00:00,负异常变化明显的时段为年积日 227UTC03:00:00—UTC04:00:00.现对上述异常变化明显时段进行 TEC 变化空间分析,如图 4 所示.

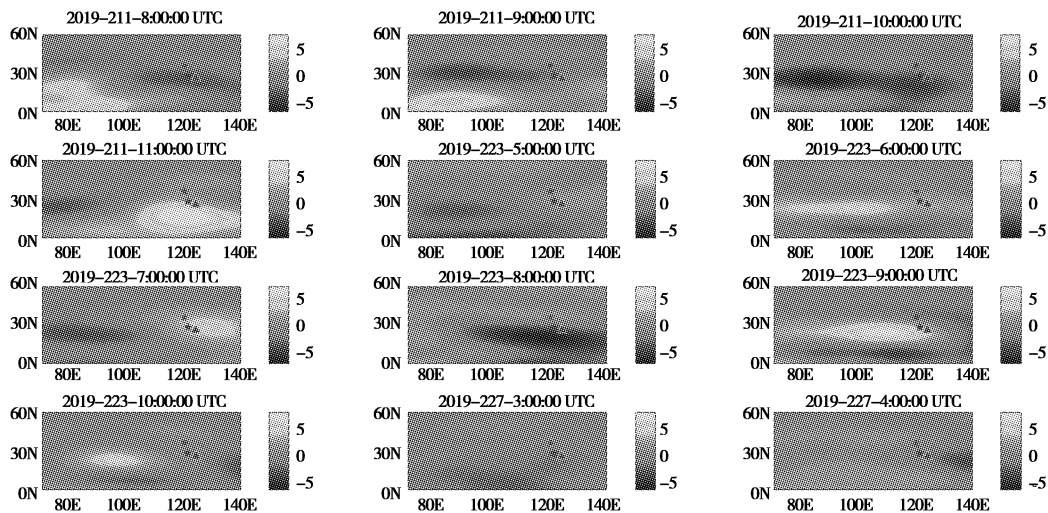


图 4 台风期间电离层 TEC 异常变化空间分析

从图 4 可以看出,台风生成前第五天,即年积日 211 11:00:00UTC,在台风生成方向有 8 TECU 左右的正异常变化.年积日 223 5:00:00UTC—7:00:00UTC,台风影响区域上空电离层 TEC 表现为正异常变化,异常幅度逐渐增大,异常区域由西向东变化,年积日 223 8:00:00UTC,电离层 TEC 出现了 4 TECU 左右的负扰动,9:00:00UTC—10:00:00UTC 又变化为正扰动,扰动幅度逐渐减小.年积日 223 日电离层 TEC 扰动由正异常变为负异常再变化为正异常的现象可能和此期间台风移动速度由大减小再增大有关.在台风消失之后的第二天,即年积日 227 3:00:00UTC—4:00:00UTC,台风影响区域上空电离层 TEC 表现为负异常变化,异常幅度逐渐减小并消失.

3 结束语

本文通过利用 IGS 提供的全球电离层电子含量地图数据,采用滑动四分位距法对台风“利奇马”期间台风登陆点及风速极值点上空的电离层 TEC 时间序列及台风期间区域 TEC 空间变化进行分析.结果表明,从电离层 TEC 时序变化分析和空间变化分析来看,在台风发生前 5 天,电离层 TEC 出现了正异常变化.此阶段为台风“利奇马”的生成

与发展阶段,故该异常可能与台风“利奇马”有关.台风“利奇马”第一次登陆后,台风影响区域上空电离层 TEC 异常变化由正变化为负再变化为正,且最大异常点并不在风眼处,而是在风眼的西南侧.此异常变化可能与此期间台风移动速度由大减小再增大有关.异常区域出现在台风影响区域的西南侧可能与台风在北半球为逆时针方向旋转,右半边的风向与行进方向一致,风速得到加强,气压降低有关.

参考文献

- [1] BAUER S J. An apparent ionospheric response to the passage of hurricanes[J]. Journal of geophysical research atmospheres, 1958, 63(1):265-269. DOI:10.1029/JZ063i001p00265.
- [2] 沈长寿. 台风与电离层 f_2F_2 相关性的探讨[J]. 空间科学学报, 1982, 2(4):335-340.
- [3] HUANG Y N, CHENG K, CHEN S W. On the detection of acoustic gravity waves generated by typhoon by use of real time HF Doppler frequency shift sounding system[J]. Radio science, 1985, 20(4): 897-906. DOI:10.1029/RS020i004p00897.
- [4] 肖赛冠,郝永强,张东和,等. 电离层对台风响应的全过程的特例研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(3):

- 623-628.
- [5] 毛田,王劲松,杨光林,等. 台风“麦莎”对电离层 TEC 的影响[J]. 科学通报,2009,54(24):3858-3863.
- [6] 余涛,王云冈,毛田,等. 台风期间厦门电离层变化的一次特例分析[J]. 气象学报,2010,68(4):569-576.
- [7] 程国生,陈焯,杜亚军. 0418 号台风“艾利”对电离层电子浓度总含量的扰动分析[J]. 自然灾害学报,2013,22(2):84-90.
- [8] RICE D D, SOJKA J J, ECCLES J V, et al, Typhoon Melor and ionospheric weather in the asian sector: a case study[J]. Radio science,2012,47(4):1-9. DOI:10.1029/2011RS004917.
- [9] 许九靖,柯福阳,赵兴旺. 基于地基 GPS 研究台风引起电离层 TEC 的变化特征[J]. 全球定位系统,2018,43(6):98-104.
- [10] 闫慧,严颂华,陈能成. 利用 GPS 数据研究江西区域电离层对台风“潭美”的响应[J]. 科学技术与工程,2018,18(6):14-21.
- [11] STENING R J. Modeling the low latitude F-region [J]. Journal of atmospheric and terrestrial physics, 1992, 54 (11-12): 1387-1412. DOI: 10. 1016/0021-9169(92)90147-D.
- [12] ZHANG D H, MO X H, ERCHA A, et al. Case study of ionospheric fluctuation over mid-latitude region during one large magnetic storm [J]. Science China technological sciences,2012,55(5):1198-1206. DOI:10.1007/s11431-012-4785-x.
- [13] LIU J Y, CHEN Y I, PULINETS S A, et al. Seismo-ionospheric signatures prior to $M \geq 6.0$ Taiwan earthquakes [J]. Geophys research letters, 2000, 27 (19):3113-3116. DOI:10.1029/2000gl011395.

作者简介

宋福成 (1986—),男,博士,讲师,研究方向为高精度卫星定位技术及应用。

时爽爽 (1990—),女,硕士,助教,研究方向为 GNSS 数据处理。

史云飞 (1979—),男,教授,研究方向为 3D GIS 及数字地籍。

周瑞宸 (1999—),男,研究方向北斗卫星定位技术。

Analysis of ionospheric *TEC* disturbances caused by typhoon Lekima based on IGS Data

SONG Fucheng¹, SHI Shuangshuang^{1,2}, SHI Yunfei^{1,3}, ZHOU Ruichen¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Water and Soil Conservation and Environmental Protection, College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi 276000, China; 2. School of Environmental Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 3. Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation Ministry of Land and Resources, Shenzhen 518034, China)

Abstract: In this paper we use the global GIM grid ionosphere data provided by IGS to investigate the ionospheric *TEC* disturbances induced by typhoon lekima in 2019. By means of the sliding interquartile range method, the temporal and regional spatial changes of the ionospheric *TEC* during typhoon Lekima were analyzed. It was found that the ionospheric *TEC* showed positive abnormal changes on the fifth day before the typhoon. On the second day after typhoon landing, the ionospheric *TEC* anomaly over the typhoon affected area changes from positive anomaly to negative anomaly and then changes to positive anomaly. The maximum value of positive anomaly reaches 8 TECU, and the maximum value of negative anomaly reaches 6 TECU. The maximum abnormal point does not coincide with the eye of the wind, but appears in the southwest region of the centre. This analysis suggests that this ionospheric *TEC* disturbances may be related to the change of wind speed and direction during the landing of typhoon.

Keywords: typhoon; Lekima; ionosphere disturbance; maximum wind speed; *TEC*