

阎泓竹, 李美, 申旭辉, 等. 张衡一号卫星记录地震电离层异常时空演化统计特征[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 27-29. [YAN Hongzhu, LI Mei, SHEN Xuhui, et al. Statistical Characteristics of Temporal and Spatial Evolution of Seismo-Ionospheric Anomalies Recorded by ZH-1 Satellite[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 27-29]

张衡一号卫星记录地震电离层异常时空演化统计特征

阎泓竹¹, 李 美¹, 申旭辉², 泽仁志玛³, 刘 静¹, 张学民¹, 刘天宇¹

(1. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036; 2. 中国科学院空间中心, 北京 100190;

3. 应急管理部国家自然灾害研究院, 北京 100085)

Statistical Characteristics of Temporal and Spatial Evolution of Seismo-Ionospheric Anomalies Recorded by ZH-1 Satellite

YAN Hongzhu¹, LI Mei¹, SHEN Xuhui², ZEREN Zhima³, LIU Jing¹,
ZHANG Xuemin¹, LIU Tianyu¹

(1. Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China; 2. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3. National Institute of Natural Hazards, Ministry of Emergency Management, Beijing 100085, China)

关键词: 自动探测方法; 地震电离层响应; 时空演化特征; 张衡一号卫星

Keywords: Automatic detection method; Seismo-ionospheric response; Temporal-spatial characteristics; ZH-1 satellite

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0027-03

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.11

0 研究背景

对地震相关电离层异常的报道最早追溯到1964年3月28日美国阿拉斯加大地震前^[1]. 然而, 随着现代空载卫星观测的发展, 尤其是2004年法国 DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions) 卫星的发射, 地震电离层异常的研究受到广泛关注. 无论是单个或者几个震例电离层异常的回溯性研究^[2,3]还是大宗震例的统计分析^[4-6], 较为一致的认识是,

电离层异常一般出现在震前2周, 属于短临前兆异常, 然而, 空间上具有不确定性. 2018年2月2日我国张衡一号电磁监测试验卫星的成功发射, 标志着我国地震电磁天地一体化立体式监测体系的初步建立, 2020年起, 张衡一号卫星数据初步应用于全国日常震情跟踪, 并在几个大地震前发现短临异常, 例如, 2021年5月22日青海玛多 $M_s7.4$ 地震前14 d、2022年1月8日青海门源 $M_s6.9$ 等地震前11 d成功提出短临异常^[7], 然而, 根据异常确定未来地震的震中位置一直是一个困扰的问题。

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 预测所基本科研业务专项面上项目(CEAIEF20240202); 国家自然科学基金面上项目(42474118)联合资助。

作者简介: 阎泓竹(2001-), 女, 硕士研究生, 主要从事地震电磁研究工作。

通信作者: 李美(1975-), 女, 博士, 研究员, 主要从事地震电磁研究工作。

E-mail: mei_seis@163.com

因此,研究地震电离层异常的时、空、强演化特性有利于促进卫星数据的进一步应用和提高地震短临预报水平。

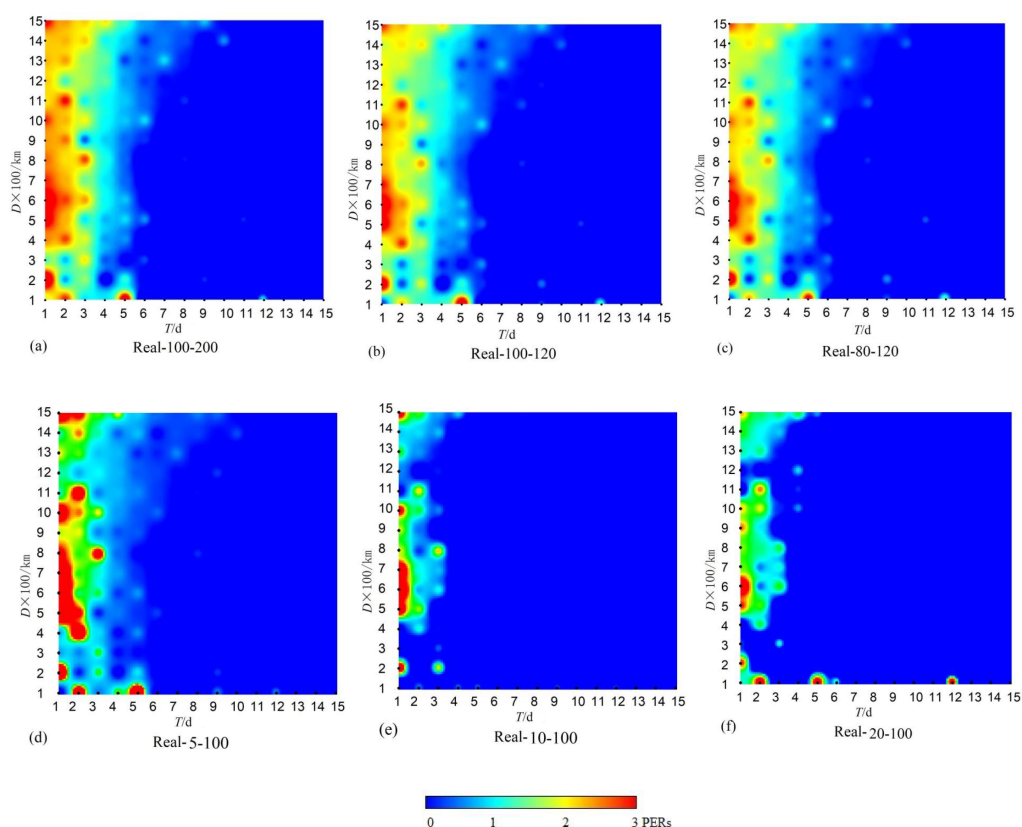
1 数据和数据处理方法

本研究使用的数据为2018年8月—2021年12月张衡一号卫星记录夜间电子浓度(Ne)数据,数据采样率为3 s;通过GMT地震目录(<https://www.globalcmt.org/>),收集研究时段全球发生的5级以上震例4846个,采用一定时空窗去余震后地震为3577个;收集研究时段代表太阳活动的Kp指数(<http://isgi.unistra.fr>),每天为8个值。

首先,利用自动探测方法,软件自动识别电离层扰动,控制扰动空间尺度 $t=20\sim 300$ s(若考虑卫星运行速度7 km/s,为140~2100 km),不限制变化幅度A,形成扰动数据库。然后,去掉扰动发生时 $Kp>3$ 的扰动,在震前15 d、1500 km范围内,软件自动检测地震与电离层扰动关系。对于探测到与地震对应的扰动,依据相对于地震事件发生的时间和距离进行时空分布统计。

2 统计结果

已有研究结果表明,大空间尺度和变化幅度的电离层扰动主要反映大尺度的电离层结构,例如,大幅度正扰动表征的威德尔海异常(WSA),大幅度负扰动表征的行星尺度的磁异常等,而小幅度的扰动更倾向于电离层背景变化^[8]。为了研究地震引起的电离层扰动的空间尺度和变化幅度,每次参加统计的扰动的变化幅度和空间尺度不同,图1为不同变化幅度A和空间尺度t表征的地震电离层异常时空演化特征,图1a用的电离层扰动变化幅度 $A\leq 100\%$,空间尺度 $t\leq 200$ s,去掉大幅度 and 空间尺度电离层变化的影响。图1d用的电离层扰动变化幅度 $5\%\leq A\leq 100\%$,空间尺度 $t\leq 120$ s,去掉小幅度和大空间尺度电离层变化的影响。由图1可以看出,地震引起的电离层异常在时间上主要出现在震前5 d,空间上,异常不是在震中正上方,而是有一个偏移,500~700 km为空间异常集中的区域。



(a) $A\leq 100\%$, $t\leq 200$ s; (b) $A\leq 100\%$, $t\leq 120$ s; (c) $A\leq 80\%$, $t\leq 120$ s; (d) $5\%<A\leq 100\%$, $t\leq 120$ s;
(e) $10\%<A\leq 100\%$, $t\leq 120$ s; (f) $20\%<A\leq 100\%$, $t\leq 120$ s

图1 不同变化幅度A和空间尺度t电离层扰动表征地震电离层响应时空演化特征

Fig.1 Temporal and spatial evolution characteristics of seismo-ionospheric response under different variation amplitude A and spatial scale t

3 讨论和结论

由地震相关电磁信号的传播机制，地震产生的电流沿磁力线传播，当地震发生在极区或者高纬地区时，磁力线近似垂直于地面，电离层异常出现在震中上空；当地震发生在中纬地区时，磁力线的水平分量不可忽略，电离层异常相对于震中有一个飘移；当地震发生在低纬地区时，由于磁力线近乎平行，常常引起展布赤道两侧的带状异常。检查参与统计的3577个震例，97.5%的地震发生在中低纬度。因此，统计结果和地震电磁信息传播机制一致，印证了研究结果的可靠性。可以作为日常判定未来地震位置的一个依据。然而，这一结果是否能通过其他卫星（例如，与张衡一号卫星具有相同轨道高度的SWARM-B卫星）观测的验证，需要进一步研究。同时，地震过程是复杂的，地震电离层异常的识别和时空演化也需要进一步研究。

致谢：本文所用数据来自于中国国家航天局（China National Space Administration, CNSA）和中国地震局（China Earthquake Administration CEA）联合支持张衡一号卫星（ZH-1）。

参考文献

- [1] Davies K, Baker D M. Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964 [J]. J. Geophys. Res., 1965(70): 2251–2253.
- [2] Akhoondzadeh M, Parrot M, Saradjian M R. Electron and ion density variations before strong earthquakes ($M>6.0$) using DEMETER and GPS data [J]. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2010, 10(1): 7–18.
- [3] Li M, Lu J, Zhang X, et al. Indications of ground-based electromagnetic observations to a possible lithosphere–atmosphere–ionosphere electromagnetic coupling before the 12 May 2008 Wenchuan M_s 8.0 earthquake [J]. Atmosphere, 2019, 10(7): 355.
- [4] Liu J, Qiao X, Zhang X, et al. Using a spatial analysis method to study the seismo-ionospheric disturbances of electron density observed by China Seismo-Electromagnetic Satellite [J]. Front. Earth Sci., 2022(10): 811658.
- [5] Liu J Y, Chuo Y J, Shan S J, et al. Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements [J]. Annales de Geophysique, 2009, 22(5): 1585–1593.
- [6] Li M, Shen X, Parrot M, et al. Primary joint statistical seismic influence on ionospheric parameters recorded by the CSES and DEMETER satellites [J]. J. Geophys. Res. Space Phys., 2020(125): e2020JA028116.
- [7] Li M, Wang H, Liu J, et al. Two large earthquakes registered by the CSES satellite during its earthquake prediction practice in China [J]. Atmosphere, 2022, 13(5): 751.
- [8] Li M, Jiang X, Li J, et al. Temporal–spatial characteristics of seismo-ionospheric influence observed by the CSES satellite [J]. Adv. Space Res., 2024(73): 607–623.