

赵彬彬, 余怀忠, 贾东辉, 等. 新疆及周边地震前电离层扰动异常特征统计分析[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 46–48. [ZHAO Binbin, YU Huaizhong, JIA Donghui, et al. Characteristics of Ionospheric Disturbance Anomalies Before Earthquakes in Xinjiang and Its Surrounding Areas[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 46–48]

## 新疆及周边地震前电离层扰动异常特征统计分析

赵彬彬<sup>1,2</sup>, 余怀忠<sup>3</sup>, 贾东辉<sup>2</sup>, 尼鲁帕尔·买买吐孙<sup>2</sup>, 钱才<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京 100083; 2. 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011;  
3. 中国地震台网中心, 北京 100045)

## Characteristics of Ionospheric Disturbance Anomalies Before Earthquakes in Xinjiang and Its Surrounding Areas

ZHAO Binbin<sup>1,2</sup>, YU Huaizhong<sup>3</sup>, JIA Donghui<sup>2</sup>,  
NILUPAER Maimaitusun<sup>2</sup>, QIAN Cai<sup>2</sup>

(1. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geoscience, Beijing 100083, China;  
2. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China; 3. China Earthquake  
Networks Center, Beijing 100045, China)

**关键词:** 张衡一号卫星(CSES); 电子密度; 氧离子密度; 异常特征; 地震实践检验

**Keywords:** ZH-1 satellite; Electron density; Ion density; Anomaly characteristics; Earthquake practice test

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0046-03

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.17

### 0 研究背景

地震电离层扰动异常作为近些年新发现的短期临震前兆异常, 受到越来越多的关注。Leonard和Barnes对1964年阿拉斯加大地震进行研究时, 首次发现震前孕震区上空电离层等离子体密度扰动现象<sup>[1]</sup>。2004年法国DEMETER卫星发射, 作为全球第一颗专门用于与地震有关电离层扰动研究的卫星, 其观测数据获得了大量的研究成果。研究发现, 国内外许多强震发生前, 均出现了不同程度的电离层扰动异常。例如, 2005年苏门答腊8.6级地震前在赤道区域的多个参量均出现电离层

扰动现象<sup>[2]</sup>; 2008年汶川6.9级地震、于田7.2级地震、汶川8.0级地震前均出现了电离层扰动异常<sup>[3-7]</sup>; 2010年智利8.8级地震前震中上空附近电场、磁场及部分等离子体参量呈现出同步扰动异常特征, 该异常可能与智利地震的震前地壳活动存在一定的关系<sup>[7-9]</sup>。张衡一号电磁卫星在多次地震前记录到了相关震前异常, 2021年漾濞6.4级地震和玛多7.4级地震前1~10 d, 出现明显的电磁扰动现象<sup>[10]</sup>; 2021年墨西哥7.1级地震前6 d, 出现明显的等离子体密度变化异常<sup>[11]</sup>。研究表明, 电离层对地震响应异常敏感, 尽管不是所有的地震前兆都观测到电离层变化, 但是电离层扰动可以看作地震短临前兆<sup>[12-17]</sup>。中强地震, 特别是强震前

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划(XH23046YA); 国家自然科学基金地震联合基金(U2039205)联合资助。

作者简介: 赵彬彬(1988-), 女, 高级工程师, 主要从事地球物理观测数据分析及地震预测研究。

E-mail: tszhaobinbin@126.com

往往会有电离层扰动异常出现<sup>[18-20]</sup>。

## 1 数据及分析方法

本文研究所使用数据为张衡一号电磁卫星搭载的星载朗缪尔探针(LAP)载荷记录的电子密度和等离子分析仪(PAP)载荷中记录的氧离子密度。数据选取自2019年以来的电子密度数据和氧离子密度数据。地震震例使用中国地震台网中心(<https://news.ceic.ac.cn/>)公布的地震数据,选取自2019年以来,新疆及周边 $M_s4.0$ 以上地震进行统计,共214次。

由于夜间电离层变化受干扰因素相对较少,更有利于捕捉与地震相关的扰动信息,因此本文只选取升轨数据进行分析。轨道重访周期为5 d,故以5 d为1个单位做分析。

研究表明,不同震级对应孕震区的范围不同,前人总结出孕震区半径 $R$ 与震级 $M$ 符合线性关系: $\lg R=0.29M+0.49$ <sup>[21]</sup>,以此公式,本文地震事件的孕震区半径约为:150 km(5.0级)~450 km(7.4级)。以震中为中心,参考孕震区半径及相邻轨道的间隔距离,识别并提取强震前高值异常作为电离层异常。

经前人研究电离层扰动异常大多出现在震前15 d内<sup>[19]</sup>,故本文研究的所有震例,均选取震前15 d的升轨轨道的数据进行分析,以5 d为一个周期并剔除当天的 $K_p \geq 3$ 时间段内的数据,以排除磁扰的影响,相邻轨道之间使用Kriging方法进行插值计算。

由于电离层电子密度和氧离子密度具有较为显著的年变化和季节变化,将地震前异常区域范围内一个季度的升轨数据的平均值作为背景数据(去除 $K_p \geq 3$ 的数据),然后观察对比研究时段内的轨道数据图像相对于背景值图像的变化。

## 2 研究结果

使用空间对比分析法对震前异常进行提取。按照震级由高到低的顺序进行,共统计地震214次,其中 $M_s \geq 5.0$ 地震55次,4.9 $\geq M_s \geq 4.5$ 地震57次,4.4 $\geq M_s \geq 4.0$ 地震102次。各震级档的地震数量随震级增大而减少,但各震级档的地震命中率( $N_A/N_E$ )随着震级的增大而增加, $M_s4.1$ 地震震前出现异常的概率最小,为3%,之后随震级增大,呈波动性上升趋势, $M_s4.8$ 以上的地震震前出现异常的概率达

到50%以上。累积地震命中率( $N_B/N_T$ )也随着震级的增加而增大,其分布范围为37%~76%。 $M_s4.0$ 地震的震前异常累积频度较低,为37%, $M_s4.7$ 以上的地震出现震前异常出现概率可达到59%; $M_s5.4$ 以上地震出现震前异常概率最高,为76%; $M_s5.5 \sim M_s6.4$ 地震受到样本数量的影响,震前出现异常概率稍有下降,但均在60%以上。地震前氧离子密度和电子密度的电离层异常出现概率随着震级的增大而增加, $M_s4.7$ 以上的地震震前异常出现概率可以达到59%以上,具有较高的异常概率。

震前电子密度和氧离子密度异常通常呈现出椭圆形或者近圆形,异常面积范围大概为经纬度网格 $5^\circ \times 5^\circ$ 至 $10^\circ \times 10^\circ$ 之间。地震发生在椭圆形或者近圆形异常的边缘附近,绝大多数异常出现后只对应一次地震,但在研究过程中发现,同一异常,后续地震有成对出现的情况,且地震均发生在异常边缘附近,两次地震发生的时间间隔较短,都在十天以内。

由异常信息统计可知,电子密度异常出现概率为90%(71/79)远大于氧离子密度异常出现概率为49%(39/79),地震发生前只出现电子密度异常概率为51%(40/79);同时出现电子密度异常和氧离子密度异常的概率为39%(31/79);10%(8/79)的地震发生前只出现了氧离子密度异常。从异常出现时间来看,电子密度异常大多数出现在震前5~8 d和10~12 d;氧离子密度异常大多数出现在震前5~6 d和11~12 d,这两项异常在震前8~9 d出现的震例均明显减少。

## 3 结语

本文利用张衡一号卫星数据,对新疆及周边地震震前电子密度和氧离子密度异常特征进行分析,总结异常出现时间、空间及异常幅度与对应地震的关系,提出该类型异常能够指示地震的震级范围,建立地震预测指标并进行地震预测检验。研究发现,新疆及周边地区地震前电子密度异常和氧离子密度异常均有出现,异常出现概率随震级的降低而减小,本研究方法针对 $M_s4.7$ 以上地震的预测具有明显的效果,预测准确率可以达到60%以上。震前异常多出现在震前5~8 d和10~12 d,通常呈现出椭圆形或者近圆形,其面积范围大概为经纬度网格 $5^\circ \times 5^\circ$ ,地震通常发生在异常边缘附近,多数情况异常出现后只对应一次地震,但如果震级相对偏小,后续地震会有成对出现的情况。

本文以异常最大值与平均值之比作为异常判定标准,把比值 $\geq 1.3$ 作为异常判定的阈值,并进行地震预测检验,从检验结果来看,电子密度和氧离子密度异常对新疆及周边地区地震的短临预报具有较好的效果。

## 参考文献

- [1] Leonard R S, Barnes R A. Observation of the ionospheric disturbances following the Alaska earthquake[J]. Journal of Geophysical Research, 1965(70):977-986.
- [2] 张学民,刘静,申旭辉,等. 2005年3月28日苏门答腊8.6级地震前的电离层扰动[J]. 地球物理学报, 2010, 53(3):567-575.
- [3] 张学民,刘静,钱家栋,等. 西藏改则6.9级地震前的电离层电磁扰动[J]. 地震, 2008, 28(3):14-22.
- [4] 张学民,申旭辉,欧阳新艳,等. 汶川8级地震前空间电离层VLF电场异常现象[J]. 电波科学学报, 2009(24):1024-1032.
- [5] 张学民,申旭辉,钱家栋,等. 我国地震电磁卫星数据分析及应用研究进展[C]//中国地震学会空间对地观测专业委员会. 中国地震学会空间对地观测专业委员会成立大会暨学术研讨会论文集. 北京:中国地震局地震预测研究所, 2008.
- [6] 曾中超,张蓓,方广有,等. 利用DEMETER卫星数据分析汶川地震前的电离层异常[J]. 地球物理学报, 2009, 52(01):11-19.
- [7] 颜蕊,王兰伟,胡哲,等. 利用DEMETER卫星数据分析强震前后的电离层异常[J]. 地震学报, 2013, 35(4):498-511.
- [8] 刘静,万卫星,黄建平,等. 智利8.8级地震的震前电子浓度扰动[J]. 地球物理学报, 2011, 54(11):2717-2725.
- [9] 张振霞,李新乔,吴书贵,等. 智利地震前DEMETER卫星对空间高能粒子的观测[J]. 地球物理学报, 2012, 55(5):1581-1590.
- [10] Wang X Y, Cheng W L, Yang D H, et al. Preliminary validation of in situ electron density measurements onboard CSES using observations from Swarm Satellites[J]. Advances in Space Research, 2019, 64(4):982-994.
- [11] Huang H, Yan R, Liu D P, et al. The variations of plasma density recorded by CSES-1 satellite possibly related to Mexico  $M_s 7.1$  earthquake on 8th September 2021[J]. Natural Hazards Research, 2022, 2:11-16.
- [12] Liu J Y, Chen Y I, Pulnits S A, et al. Seismo-ionospheric signatures prior to  $M \geq 6$  Taiwan earthquakes[J]. Geophysical Research Letters, 2000(27):3113-3116.
- [13] Chuo Y J, Liu J Y, Pulnits S A, et al. The ionospheric perturbations prior to the Chi-Chi and Chia-Yi earthquakes[J]. Journal of Geodynamics, 2002(33):509-517.
- [14] Singh R P, Singh B, Mishra P K, et al. On the lithosphere atmosphere coupling of seismo-electromagnetic signals[J]. Radio Science, 2003(38):1065.
- [15] Hayakawa M, Horie T, Yoshida M, et al. On the ionospheric perturbation associated with the 2007 Niigata Chuetsu-oki earthquake, as seen from subionospheric VLF/LF network observations[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2008(8):573-576.
- [16] Akhoondzadeh M, Parrot M, Saradjian M R. Electron and ion density variations before strong earthquakes ( $M > 6.0$ ) using DEMETER and GPS data[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2010(10):7-18.
- [17] Kon S, Nishihashi M, Hattori K. Ionospheric anomalies possibly associated with  $M \geq 6.0$  earthquakes in the Japan area during 1998-2010: Case studies and statistical study[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011(41):410-420.
- [18] 张学民,钱家栋,申旭辉,等. 电磁卫星地震应用进展及未来发展思考[J]. 地震, 2020, 40(2):18-37.
- [19] 李美,王芙蓉,张晓东,等. 地震电离层响应异常时空演化统计特征[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(2):498-504.
- [20] 王秀英,杨德贺,周子涵,等. ZH-1卫星得到的中国及邻区顶部电离层背景特征[J]. 地球物理学报, 2021, 64(2):391-409.
- [21] 彭克银,尹祥础,和锐. 用临界点理论讨论应变能加速释放现象和孕震区尺度[J]. 中国地震, 2003, 19(4):425-430.