第18卷 第1期
1998年1月

空间科学学报
CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE

Vol.18, No.1
Jan., 1998

地磁活动对电离层 f_0F_2 月中值的影响与国际参考电离层误差*

吴 健 索玉成 权坤海

(中国电波传播研究所 新乡 453003)

摘 要

利用我国9个中低纬度的电离层观测站在1977—1986年间观测的 f_0F_2 月中值，按每月的平均地磁活动指数 Ap 分为地磁活动高($Ap \geq 5$)和低($Ap < 15$)两种情况，研究了地磁活动对 f_0F_2 月中值平均低纬电离层驼峰区演变的影响，并考察了国际参考电离层(IRI)的误差.

关键词 电离层模式—地磁活动—电离层临界频率

1 引 言

电离层 F_2 层临界频率 f_0F_2 除受太阳辐射的控制外，还受F区的各种动力学过程的影响，如赤道电集流对低纬F区的影响，热层环流的影响等. 这些动力学过程大部分受控于地磁场，因此地磁活动直接影响 f_0F_2 值的大小. 此外，中性大气各成份密度的大小也受地磁活动影响，进一步影响电离层电子密度的大小.

地磁活动的影响在电离层短期预报方面已得到充分的重视，电离层暴研究以及搔扰预报已取得了重要进展. 多年来在电离层长期预报方面以及其它与 f_0F_2 月中值有关的研究中，地磁活动对 f_0F_2 月中值的影响未得到足够的重视. 现行的国际参考电离层 IRI-90[1] 以及大多数全球电离层长期预报模式和区域性参考电离层[2—5]均未考虑地磁活动的影响. 多年来人们一直认为，基于 f_0F_2 月中值测量数据建立起来的参考电离层模式反映的是地磁宁静情况下的电离层状态，事实上电离层参数的月中值反映了该月平均的地磁活动和平均的太阳辐射对电离层的影响. 因此 f_0F_2 月中值的平均行为必然随地磁活动指数的月平均值变化. 本文用我国电离层观测站网的资料分析 f_0F_2 月中值的平均行为随地磁活动指数的月平均值的变化.

2 观 测 结 果

本文所用的观测数据是1977—1986年期间在我国的9个电离层观测站取得的 f_0F_2 月

* 电子科学研究院军事预研项目
1995-11-06收到原稿，1997-10-05收到修定稿

中值资料，它们分别为海口、广州、重庆、拉萨、兰州、北京、长春、乌鲁木齐和满洲里，各站的地理位置见文献[6]．所用资料基本上覆盖一个完整的太阳活动周，Ap 的变化范围为8—36．总的 Ap 平均值为15，因此，在下面的研究中，按每月的平均地磁活动指数 Ap 分为地磁活动高（$Ap \geq 15$）和低（$Ap < 15$）两种情况，两种情况的月数基本相当，平均 R_{12} 分别为83.1和83.3；两种情况的平均 Ap 值分别为11和19．

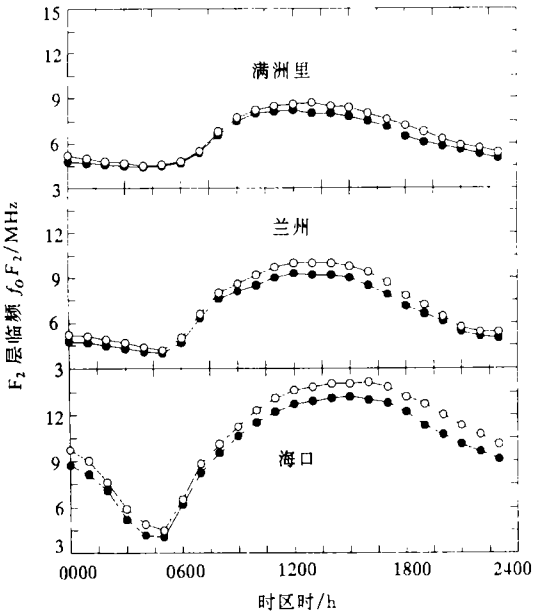

图1　1977至1986年间各站在地磁活动高（圆圈）和低（圆点）两种情况的 f_0F_2 平均日变化剖面

Fig.1　Averaged diumal variation of f_0F_2 at higher(open circle) and lower(point) magnetic activities using data from 1977 to 1986

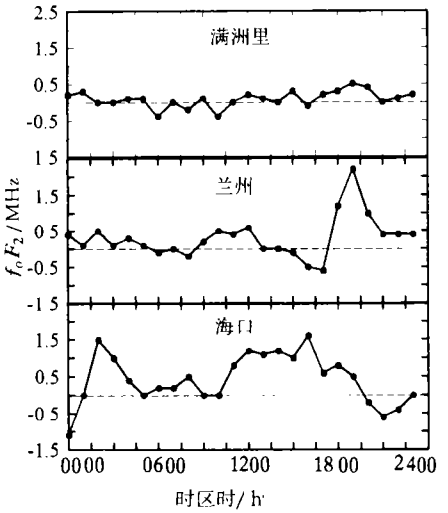

图2　1978年9月份（Ap=18，R_{12}=108）和1982年9月份（Ap=36，R_{12}=101）两种情况的 f_0F_2 月中值差的日变化

Fig.2　Difference of monthly median of f_0F_2 between September 1978 (Ap=18, R_{12}=108) and September 1982 (Ap=36, R_{12}=101)

首先，图1从上到下按纬度从高到低排列，给出3站在地磁活动高和低两种情况下总的 f_0F_2 平均日变化．图1表明，在我国中低纬度，地磁活动高的 f_0F_2 平均值在一天的任意小时均比地磁活动低的大．最大的偏差（地磁活动高与低两种情况的 f_0F_2 平均偏差）出现在时区时中午和午后，达1.5MHz，日出前后的偏差较小，随纬度的降低偏差有增大的趋势．在计算过程中，太阳辐射变化和与地磁活动关系较密切的季节变化已为平均状态，因此，图1反映的是平均的结果，若月平均地磁指数 Ap 远大于20或远小于10时，或太阳辐射高年，这种偏差会更大．作为一个例子图2给出1978年9月（R_{12} = 108，Ap = 18）与1982年9月（R_{12} = 101，Ap = 36）各站 f_0F_2 月中值的差，上述两种情况的太阳辐射效应的差别可以忽略不计，因此可以认为图2的 f_0F_2 月中值差是由于两种情况的地磁活动不同所致．显然，在相同的月份和相同的太阳辐射情况下，地磁活动对 f_0F_2 月中值的影响随地理位置和地方时变化．

3 与 IRI 的比较

考察地磁活动对 f_0F_2 月中值影响及其随纬度的变化，以及对国际参考电离层 IRI 误差的影响．图 3 所示为地磁活动高和低两种情况，给定时区时的 f_0F_2 平均值随磁倾纬度变化的剖面，它展示的 F_2 层赤道驼峰的时间演变过程与 Walker 等人[7]最近观测的 TEC 所得的结果基本一致．

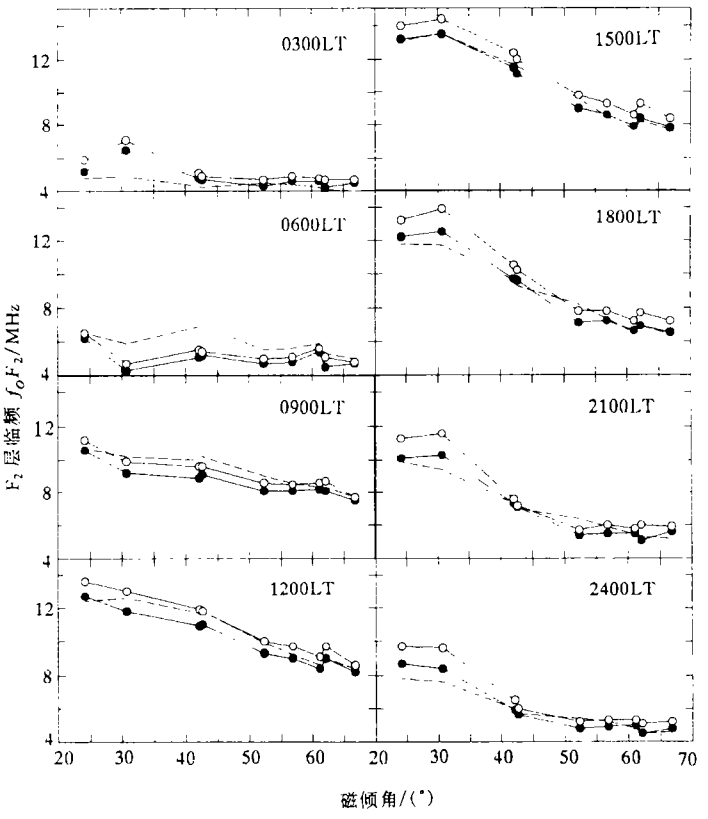

图3 1977至1986年间在地磁活动高(圆圈)和低(圆点)两种情况下观测的平均 f_0F_2 月中值纬度变化剖面与 IRI 计算结果(虚线)的比较

Fig.3 Averaged altitude profiles of monthly median f_0F_2 at higher magnetic activities (open circle) and at lower (point) magnetic activities using data from 1977 to 1986

首先，在所有时区时间和所有观测站地磁活动高的纬度剖面值较地磁活动低的大．两种情况的剖面偏差在 0500LT 最小，随着 F_2 层赤道驼峰的演变，两种情况下的剖面的偏差开始增大，1900LT—2100LT 达到最大并开始减小，到 0500LT 两种情况下的剖面的偏差达到最小．

在 0500LT—1000LT 之间，IRI 计算的剖面除海口之外比两种情况下观测的剖面均大；在 1100LT—1500LT 之间，IRI 计算的剖面介于两种情况下观测的剖面之间；到 1500LT 驼峰的 f_0F_2 平均值达到最大，随即开始减弱，随着观测的 f_0F_2 平均值的减弱，驼峰区北峰的

位置直到消逝并没有明显南移,这一点与文献[8]的结论一致,在低纬地区IRI计算的剖面值除了以比观测值更快的速度减弱之外,北峰的位置也随之明显南移,两种变化趋势使得IRI计算的剖面值很快偏离观测值,到0100LT—0300LT之间,IRI计算的剖面与两种情况下观测的剖面的偏差达到最大,接近3MHz,然后回复. 到1800LT时,IRI计算的F_2层驼峰位置已明显与观测的不同.

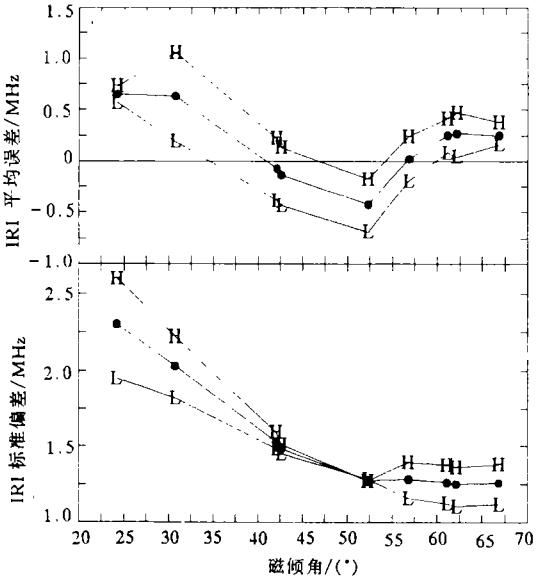

图4　相对1977至1986年间观测的f_0F_2月中值,地磁活动高(H)和低(L)两种情况IRI在各站计算的f_0F_2平均误差的标准偏差,以及总平均误差和总平均标准偏差(圆点)

Fig.4　Mean error and deviation of the IRI at higher(H) and lower(L) magnetic activities, and the total mean error and total deviation(point) using data from 1977 to 1986

图4所示为各观测站按地磁活动高和低两种情况分别计算的总的IRI平均误差和IRI标准偏差,计算中IRI误差等于观测的f_0F_2月中值减去IRI计算的f_0F_2. 从地磁活动低到地磁活动高的情况,IRI平均误差变化范围约0.8MHz. 显然忽略地磁活动的影响将带来更大的IRI计算误差. 兰州以南的纬度上,不管地磁活动高或低,标准偏差随纬度的降低而增大,从地磁活动低到高的标准偏差变化范围也随之增大,地磁活动低的标准偏差总是大于地磁活动高的,在海口两种情况的标准偏差相差最大达2MHz;在兰州站,标准偏差几乎与地磁活动无关;兰州以北纬度上,标准偏差随纬度几乎不变,地磁活动低的标准偏差总是大于地磁活动高的. 显然考虑地磁活动的影响,可大大降低参考电离层模式在低纬度地区的预测偏差.

4　几点讨论

图1和图3表明,地磁活动的影响在低纬地区比较重要,其物理机制可能是由于赤道电集流和中性风的缘故. 平均地磁活动越强,电集流和中性风引起的漂移效应越强,使得驼峰效应加强,这是平均行为. 对于具体月份,地磁场活动的差异,除引起上述平均行为

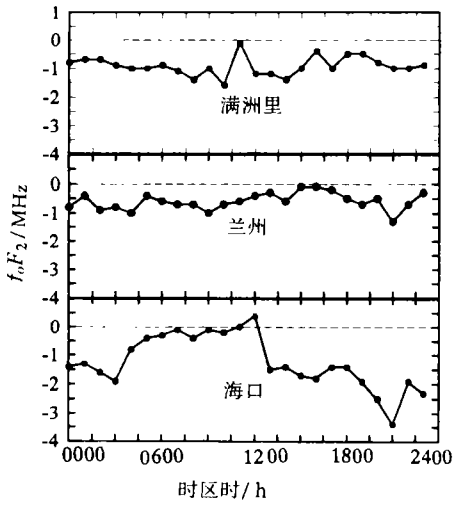

图5 1979年2月份(Ap=15, R_{12}=131)和1982年2月份(Ap=33, R_{12}=133)两种情况下f_0F_2月中值差的日变化

Fig.2 Difference of monthly median of f_0F_2 between February 1979 (Ap=15, R_{12}=131) and 1982 (Ap=33, R_{12}=133)

的差异之外还导致扰动行为的差异。已经知道扰动是正扰还是负扰与地理位置和发生的时间都有关系，也就是说，对具体月份地磁活动的影响不仅仅使f_0F_2月中值增大．图5就是一具体例子，与图2相同它给出1979年2月(R_{12} = 131, Ap = 15)与1982年2月(R_{12} = 133, Ap = 33)f_0F_2月中值的差值，显然图5的结果与上述平均行为不符．但扰动行为的差异不属于长期预测模式的研究范畴．

图3表明，在一定的地方时段，参考电离层对驼峰区形状及驼峰位置的表示不准确，原因之一是IRI未考虑地磁活动的影响，所以无法再现不同地磁活动情况下驼峰的形状以及驼峰的出现和发展演变过程的差异．此外，IRI对驼峰区形状、位置和f_0F_2大小预测的不准确，其原因之一是CCIR系数或URSI系数在统计过程中未考虑中国次大陆的观测数据，以往的工作都强调了这一原因[5,9]．中国次大陆所在的东亚地区的赤道驼峰的形状及演变过程均有别南美或非洲大陆的情况[7,10]．原因之二是CCIR系数和URSI系数中所采用的f_0F_2与太阳辐射的关系是简单的线性关系，观测资料显示，这一关系在数学上更接近抛物关系[2,4,5]，因此在太阳辐射中等以及偏高的情况下IRI预测的结果总是较观测值偏低[5]．

5 结 论

利用我国9个中低纬度电离层观测站在1977至1986年间观测的f_0F_2月中值，按每月的平均地磁活动指数 Ap 分为地磁活动高($Ap \geq 15$)和低($Ap < 15$)两种情况，研究了地磁活动对f_0F_2月中值平均行为的影响，并且研究了两种情况下参考电离层IRI平均误差和标准偏差．通过上述分析可以得到如下几点结论：

(1) 地磁活动对f_0F_2月中值影响是非常重要的，国际参考电离层模式忽略地磁活动的影响是导致较大误差的重要原因之一；地磁活动对f_0F_2月中值影响在低纬地区较中纬度地区重要，国际参考电离层未能很好地预测驼峰区的分布以及驼峰区的发展演变过程是导致低纬地区较大误差的另一重要原因．

(2) IRI平均误差随地磁指数 Ap 的增大而增大，随 Ap 的变化范围在低纬地区较中纬度地区大．

(3) IRI平均标准偏差随地磁指数 Ap 的增大而增大，只有兰州附近随 Ap 不变；不管地磁活动低和高，在兰州以南的低纬地区均随纬度的降低而增大，以北的中纬度地区基本不变；IRI平均标准偏差随地磁指数 Ap 的变化范围，在兰州以南的低纬地区随纬度的降低

而变宽，兰州以北的中纬度地区变化范围不变.

致谢　戴开良、罗发根、魏民军和彭素琴同志准备了本文部分数据，作者在此表示感谢.

参　考　文　献

[1] Bilitza D. International reference ionosphere 1990, *NSSDC / WDC-A-R&S*, 1990

[2] 孙宪儒. 亚大地区 F_2 电离层预测方法，通讯学报，1987，**8**(6)：37—45

[3] Chiu Y T. An improved phenomenological model of ionospheric density, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1975, **37**(12):1563—1570

[4] Aggarwal S, Shastri S. Atlas of ionospheric communication parameters over the Indian subcontinent. National Physical Laboratory, New Delhi, 1991

[5] Wu J *et al.* progress in the study of the Chinese reference ionosphere. *Adv. Space Res.*, 1995, **18**(6):187—190

[6] Jiao P N, Wu J. Ionospheric models and data for the Chinese subcontinent. *Adv. Space Res.*, 1995, **18**(6):191—200

[7] Walker G O, Ma J H K, Golton E. The equatorial ionospheric anomaly in electron content from solar minimum to solar maximum for South East Asia. *Ann. Geophys.*, 1994, **12**(2/3):195—209

[8] 成杰，熊皓. 赤道电离层异常北峰的移动. 地球物理进展，1994，**9**(增刊)：151—158

[9] 刘瑞源，权坤海，戴开良等. 国际参考电离层用于中国地区时的修正计算方法. 地球物理学报，1994，**37**(4)：422—432

[10] Walker G O. Longitudinal structure of the F-region equatorial anomaly: a review. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1981, **43**(8):763—774

EFFECTS OF THE GEOMAGNETIC ACTIVITY ON THE IONOSPHERIC MONTHLY MEDIAN f_0F_2 AND ON THE IRI PREDICTION PRECISION

WU Jian　　SUO Yucheng　　QUAN Kunhai

(*China Research Institute of Radiowave Propagation, Xinxiang* 453003)

Abstract

Vertical sounding data monthly median f_0F_2 from 1977 to 1986 at 9 Chinese ionospheric observatories in middle and lower latitude region is used in this paper to study the effects of the geomagnetic activity on the average behavior of monthly median f_0F_2 and on the IRI prediction precision. Data is grouped in two cases, one is for monthly averaged magnetic active index $Ap < 15$, the other for $Ap \geqslant 15$. Averaged diurnal variations of monthly median f_0F_2 without considering season and solar activity shows that the bigger Ap is, the bigger averaged monthly median f_0F_2 value at all local time, and that the effects of the geomagnetic activity is more important at local noon and in the afternoon, and in lower latitude region. Averaged seasonal variations

of monthly median f_0F_2 without considering local time and solar activity shows that averaged monthly median f_0F_2 value at higher geomagnetic activity is bigger than at lower geomagnetic activity during spring and summer. The positive deviation is up to 4MHz in March. And it is smaller than at lower geomagnetic activity during fall and winter. The negative deviation is up to 2MHz in September. Comparative study with the IRI indicates that during 0500—1000LT the IRI results are bigger than observations. The lower geomagnetic activity, the bigger the IRI deviation. During 1600—0400LT in lower latitude region, the IRI results are smaller than observations. The higher geomagnetic activity, the bigger the IRI deviation. During 1100—1500LT the IRI results are between observations of higher geomagnetic activity and of lower geomagnetic activity. The total averaged IRI errors are bigger in higher geomagnetic activity than in lower. Maximum deviation of the averaged IRI errors from higher geomagnetic activity to lower is about 0.8MHz. The standard deviation of the IRI demonstrates an important latitudinal variation. In the lower latitude region south of Lanzhou to Haiou, The total standard deviation increases with the decrease of latitude. The standard deviation increases with the increase of the magnetic activity. In middle latitude from Lanzhou to Manzhouli, the standard deviation keeps stable when latitude increases, and it increases with the increase of the geomagnetic activity. An important conclusion of this study is that the effects of geomagnetic activity on the monthly median f_0F_2 are considerably important, and that ignoring the effects is a main source of IRI errors.

Key words Ionospheric model, Geomagnetic activity, Ionospheric critical frequency

空间生命科学与航天医学工程学术报告研讨会

中国空间科学学会空间生命专业委员会、中国宇航学会航天医学工程专业委员会于 1997 年 9 月 1—4 日在山东烟台联合召开"空间生命科学与航天医学工程学术报告研讨会",会议代表 43 名. 会上介绍了今年 6 月华盛顿召开的第 12 届 IAA"人在空间"学术会上的若干新进展,对航天医学工程与空间生命科学实验研究,及航天医学工程与空间生命科学发展动态研究等问题进行了研讨,由 80 余篇征文中优选出宣读文章 17 篇,张贴文章 22 篇. 会议还评选出 3 篇优秀论文给予表彰奖励,他们分别是司少艳、刘志恒和汪恭质的文章.

此次会议时间短、效率高、目标明确、报告水平高、讨论问题明了,整个会议开得比较圆满,达到了预期目的.