第30卷 第6期 地球物理学报 Vol. 30, No. 6
1987年11月 ACTA GEOPHYSICA SINICA Nov., 1987

武昌电离层 E-F 谷区白天变化形态*

苏元智 黄信榆
(中国科学院武汉物理研究所)

摘 要

本文利用文献[4]的分析程序对武昌地区三年共300多张频高图作了剖面换算和统计分析,得出白天 E-F 谷区电离的基本形态并发现一些新的变化特征;对分析结果的可能原因提出了讨论.

关键词 电离层测高仪, E-F 谷区形态,等效板厚.

发现电离层不久,人们就推测在E与F层之间存在谷区. 但是,由于该区没有相应的反射电波描迹,利用垂直探测频高图探求其电离分布相当困难[4],迄今所得信息甚少. 火箭与大功率非相干散射雷达的探测[1-3],一直是获得谷区形态资料的主要手段. 但火箭发射次数有限,大功率雷达造价昂贵、设点很少,都不能进行常规观测,因而有其局限性. 垂直探测积累了大量的多点、连续观测资料,其中包含着谷区分布的可靠信息;问题在于要有一个合适的分析方法加以提取. 这将有助于对电离层谷区分布和变化,在形态和理论方面,作更深入的探讨与研究.

我们利用一种实用可行的剖面分析方法[4],分析了武昌地区白天实测频高图三年记录,试图探求谷区参量的变化规律及其形成、发展机理.

一、观测资料的选取

我们从武昌台站(114.4°E, 30.5°N, 磁倾角 $I = 44.5°$) 1964、1965 和 1982 三年的记录中选出三百多张白天频高图. 为了保证能获得定量结果,我们的选择条件是,E层 O 波描迹清晰;F层低端 O、X 波描迹至少都有 0.5MHz 宽度,并且其最低频率与E层临界频率之差不超过 0.4MHz.

在换算中,采用频率间隔为 0.1MHz 的群高分片法推求单调等效剖面,对E层峰值高度使用抛物外推. 若E与F层两描迹的间隙超过 0.1MHz,则取界点频率 f_c[4] 大于E层临界频率. 这样,大量过去认为不能做谷分析的频高图,也都被纳入了入选范围. 如果对于某张频高图,算得的相应于最佳谷深的平均谷宽偏离大于 5km,则不作进一步分析,因为这时可能存在着斜反射等非常规的原因.

图1示出一张频高图的复制描迹及其换算所得的剖面.

本文1986年6月30日收到,同年10月8日收到修改稿.
* 中国科学院科学基金资助的课题.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

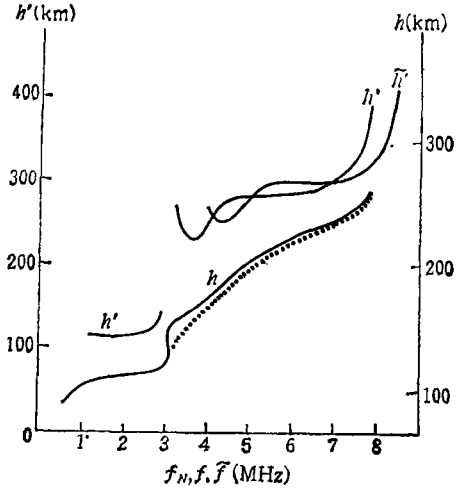

图 1 1965 年 10 月 27 日 9 时 45 分的实测群高描迹 h' 及其换算剖面 h（点线为等效单调剖面）

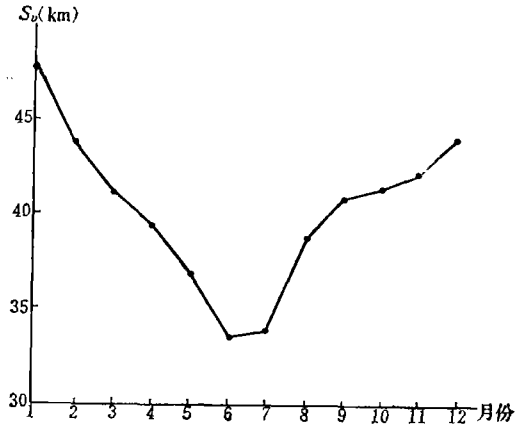

图 2 谷区板厚 S_v 的年变化

二、分析结果——武昌电离层 E-F 谷区白天形态特征

1. 谷区基本结构 在白天大部分时间内，E 与 F 层之间都存在谷区。计算中谷深参量 R [4] 取 0.2，0.4，0.6 和 0.7 四个试设值。换算结果：大部分最佳谷深参量为 0.2，小部分为 0.4，深谷（$R \geqslant 0.6$）仅偶而出现。白天谷深变化很小，一般都是谷底等离子体频率与 E 层临界频率之比约为 0.95 的浅谷，与文献[3]的结果基本一致。

由于大部分时间内 R 都是 0.2，因此，本地区谷宽与电子浓度等效板厚的变化趋势基本一致，其量值也相差不大。下面主要考察板厚的变化规律。分析所得的板厚平均值，1964 年为 39.7 km，1965年为 39.2 km，1983 年为 43.0 km。日出后和日落前时段内入选频高图较多，而这时谷区较宽，故整个白天加权平均值为 30—35 km。

2. 谷的年变化 谷区等效板厚 S_v 的年变化相当显著，6 月和 7 月达最小值。图 2 为三年数据滑动月平均值的年变化曲线。表 1 列出各年 S_v 的季平均值（单位为 km），5—8 月取为夏季，11—2 月为冬季，两者间的月份为春季和秋季。在不同年份，板厚的变化趋势（夏窄冬宽）是一致的。

表 1

季节 / 年份	春季	夏季	秋季	冬季
1964年	35.19	26.94	40.78	48.94
1965年	41.98	33.60	33.94	42.60
1982年	40.29	36.83	43.12	45.07

3. 谷的日变化 谷区板厚日变化的总趋势是随着太阳天顶角 χ 的增加而增加，在 $\chi = 60°$ 左右变化最快。图 3 是各年以及冬季和春秋季的平均变化曲线。在求统计平均

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的过程中，为了排除个别点偏离较大以及在不同天顶角时入选频高图的数目不同所导致的影响，我们采用了加权滑动平均的方法．从图 3 可见，所有 5 条曲线都呈现波动变化成份，波形也相类似；在 $\chi=80°$ 附近的一个极小值尤为显著．该极值的位置在太阳活动高(低)年位于较大(小)天顶角处；对每年不同季节，则位置不变．

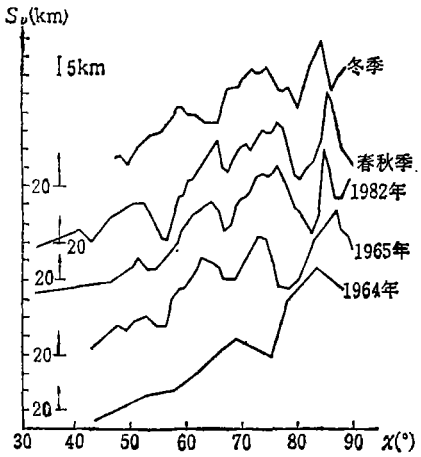

图 3　各年和各季的谷区板厚 S_v 随太阳天顶角 χ 分布的平均曲线
(单位长度和各线的起始位置标示在左侧)

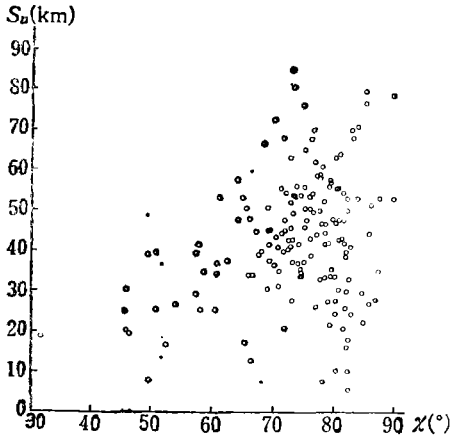

图 4　1982 年的谷区板厚 S_v 随天顶角 χ 的分布

为了确认这一新的变化特征，还对入选频高图较多的 7 天画出各自的 $S_v\sim\chi$ 变化曲线(文中没有示出)，发现其变化趋势与图 3 中各曲线一致，同样特别明显地呈现出 80° 左右的极小值(其它次要的极值，在一天之内并不一定出现)．但是，夏季的相应数据没有显示明显的规律性，这可能是由于该季节的日变化比较复杂，也可能是入选的频高图太少．

作为一个例子，图 4 示出与图 3 中第 3 条曲线对应的、1982 年 S_v 随 χ 的分布，从中可见数据点与平均曲线的离散程度． Lobb 等[5]曾对一百多张严格挑选的频高图进行了分析，所得结果似乎没有显示较强的规律性．

图 4 与其它 4 张(1965 年、1964 年、春秋季和冬季的)同类型分布图（本文没有引用）具有一个共同的特征：在 70° 左右，相对说来没有很窄的谷；而在78°左右，则没有很宽的谷．表明这个显著极小值的存在，是相当可靠的．其它次要极小值在这类分布图中，则不很明显．

三、理论说明和讨论

1. 光化学过程控制着谷区的基本形态　在 100—250 km 高度范围内，在光化学平衡条件下，用数值方法求解 $O^+(4S)$、O^+ (2D)、N_2^+、O_2^+ 和 NO^+ 5 种离子和电子 Ne 的数密度所满足的方程组，得出各带电粒子在不同太阳天顶角时的数密度高度分布．各种复合系数、反应率以及大气成份数密度等有关参量分别取自文献 [6—8] 等．图 5 是

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$\chi = 50°$ 时，各种带电粒子的数密度剖面，可以看出，在E和F层高度之间，Ne 剖面存在谷区。

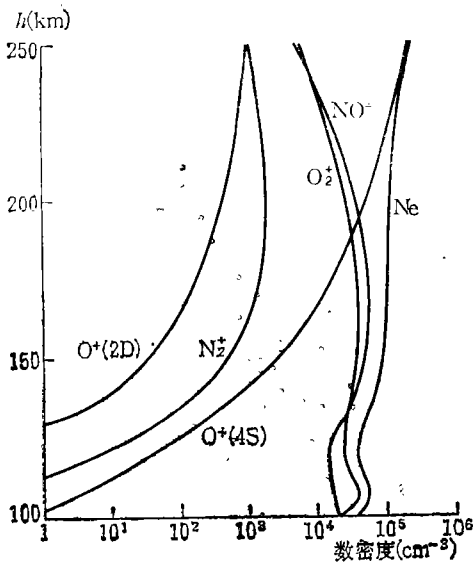

图 5 太阳天顶角为 50° 时，离子和电子数密度剖面

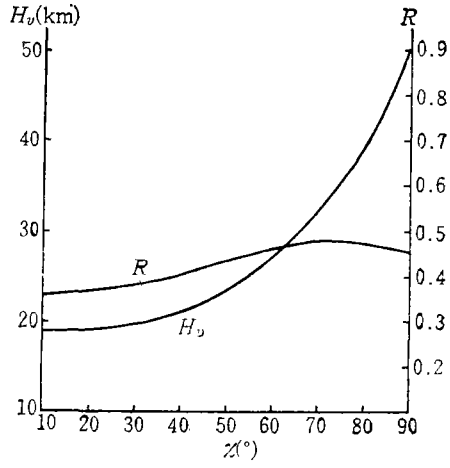

图 6 谷宽 H_v 和谷深参量 R 的计算值随太阳天顶角 χ 的变化

图 6 示出计算所得的谷宽 H_v 和谷深参量 R 随太阳天顶角 χ 的变化曲线. H_v 随 χ 增大，在 50° 以上变化较快速；与分析结果 S_v 的日变化在总趋势上基本相符. 冬季 χ 的全天平均值远大于夏季，则导致了 S_v 冬宽夏窄的年变化特征. R 的理论计算值 (0.35—0.48) 虽比分析结果大一些，但"R 随 χ 变化平稳"的结论则是符合实际的.

2. 高空大气风场可能是导致 $\chi \approx 80°$ 时谷宽极小值的一个原因 在 120 km 高度以上，大气子午风对电离输运的贡献远大于纬向风. 在刚刚日出后或日落前，子午风转向，风速很小[9]；在光化学过程控制下，谷显得较宽. 上午，随着子午风速的增大，电离沿磁力线下移，使谷区上界迅速降低，于是谷区变窄. 当 χ 继续减小时，光化学过程在谷区的相对作用渐显重要，又使谷宽回升. 下午，则进行着与此反向的过程. 总之，极小值将出现在子午风转向时刻的附近 ($\chi \approx 80°$).

E-F 谷区的形成及其变化过程，涉及多种复杂因素. 这里，只就其基本变化趋势提出上述意见，以供讨论.

四、结 束 语

本文利用文献 [4] 的剖面分析方法，从较大量的电离层垂测频高图提取尽可能多的 E-F 谷区结构信息，获得武昌地区白天谷区电离的基本形态和某些新的变化特征:

1. 大部分时段内为浅谷，平均谷宽 30 多公里;
2. 谷区冬天较宽，夏天较窄;

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3. 谷宽日变化：在随太阳天顶角而增大的基本趋势上，叠加着一种波动变化；80° 左右有一个显著的极小值。

理论计算表明，光化学平衡过程能够形成 E-F 谷区，并可解释谷宽变化的总趋势。而 80° 左右极小值的存在，则可能是由高空大气风场所导致。

这些结果将使主要来自火箭和大功率雷达探测的谷区知识获得进一步的充实，为深入探讨电离层各种物理过程提供更详尽、连续的实验依据。

我们认为从频高图探求无描迹区电离分布信息的途径是可行的，并希望继续用文献[4]的方法对夜间底部电离分布有关参量的变化进行分析研究。

参　考　文　献

[1] Meada Ken-ichi, Study on electron density profile in the lower ionosphere, *J. Geomag. Geoelectr.*, **23**, 133—140, 1971.

[2] Fukao, S. et al., Daytime electron density profiles of the E and F_1 regions, *Space Research*, **XV**, 327—333, 1975.

[3] Taylor, Normal and abnormal E-region electron density profiles at a midlatitude station, *Radio Sci.*, **9**, 167—179, 1974.

[4] 黄信榆、苏元智、谭子勋，频高图无描迹区信息提取，地球物理学报，**30**，341—348，1987.

[5] Lobb, R. J. and Titheridge, J. E., The valley problem in bottomside ionogram analysis, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **39**, 35—42, 1977.

[6] Frederick and Ruch, On the chemistry of metastable atomic nitrogen in the F region deduced from simultaneous satellite measurements of the 5200-Å airglow and atmospheric composition, *J. Geophys. Res.*, **82**, 3509—3516, 1977.

[7] Torr, D. G. et al., An experimental and theoretical study of the mean diurnal variation of O^+, NO^+, O_2^+ and N_2^+ ions in the midlatitude F_1 layer of the ionosphere, *J. Geophys. Res.*, **84**, 3360—3372, 1979.

[8] 美国国家海洋和大气局、国家宇航局和美国空军部，标准大气，科学出版社，1982.

[9] Amagyenc, P., Tidal oscillations of the meridional neutral wind at midlatitudes, *Radio Sci.*, **9**, 281—293, 1974.

DAYTIME BEHAVIOR IN VALLEY REGION BETWEEN E AND F LAYERS OF THE IONOSPHERE OVER WUCHANG, CHINA

SU YUAN-ZHI　　HUANG XIN-YU

(Wuhan institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract

In this paper, more than 300 ionograms of Wuchang, China in three years are reduced to extract the valley information with a new technique.

By statistical analysis, we obtain the typical daytime behavior in valley region between the E and F layers of the ionosphere and reveal some new variation characteristics of the valley parameters. The possible causes of the results have been discussed.

Key words: Ionosonde, E-F valley morphology, Equivalent slab width.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net