第7卷 第4期 空间科学学报 Vol.7, No.4
1987年10月 GHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1987

从多站观测研究电离层主槽特性

曹 冲
（中国电波传播研究所）

摘 要

本文利用位于不变纬度 $\Lambda=46°$—$70°$S 之间的四个电离层站的观测数据，分析了电离层主槽的基本特性．分析结果表明，电离层主槽有如下特征：（1）槽在冬季夜间出现较为明显，春秋季夜间较弱，夏季夜间和所有季节的白天均观测不到；（2）槽的特点有二，一是其电子密度异常地低，二是层的虚高有较大的增加；（3）槽的极向壁较稳定，且有较陡峭的电子密度梯度，而槽的赤道向壁较多变，电子密度梯度较平缓；（4）槽出现的主要时段是在 20:00—03:00(LT)，在此期间，槽处于不断的变化和运动之中．

一、引 言

电离层主槽，通常称为中纬电子密度槽，实质上，它是中纬和极区电离层的分界区域，位于 $L\simeq 4$ 的附近，显示出F区电子密度异常低的特征．槽及其有关的电子密度梯度区域，即包括槽的极向和赤道向壁在内，常出现在 $\Lambda=50°$—$70°$ 的范围内，可见它是个大尺度的电离层结构．这一结构是个尚未弄清的亚极光区电离层特性，在高纬和中纬电离层间耦合，和等离子层与电离层相互作用，以及电离层全球形态和动力学行为的研究中占有重要地位．

电离层主槽的研究主要是通过卫星测量进行的．60年代中期，Muldrew 与 Sharp 等人首先观测到了槽的现象[1,2]．当时人们致力于确定不同本地时和磁活动条件下槽的位置．卫星数据也用来研究槽与其它亚极光区现象之间的关系．这些现象有等离子层顶，轻离子槽，稳定的极光红弧，和电子温度增加区．卫星研究主要注重电离层槽的顶部特性，却对槽的底部特性研究甚少．实际上，槽会明显地影响到 h_mF_2 高度以下的底部电离层的电子密度变化，还会造成扩展 F 层和散见 Es 层等电离层不均匀结构[3,4]，这些效应对于极光区和亚极光区的无线电波的传播都是十分重要的[5]．

二、观 测 数 据

本文分析所用的数据，来自南半球的四个测高仪站，它们的不变纬度位于 $\Lambda=46°$—$70°$S 之间，正好完全覆盖了电离层中纬主槽区域．这四个站分别是：(a) Canberra (Λ

本文于1987年1月20日收到．

$= 46°S$); (b) Hobart ($\Lambda = 54°S$); (c) Syowa ($\Lambda = 66°S$); (d) Mawson ($\Lambda = 70°S$). 四站并不是在同一经度区内,因而我们采用各站本地时 (LT),以调整经度效应,由于是统计平均和大尺度结构研究,所以是可行的. 按四站位置来讲, Canberra 站尚未进入电离层主槽区,恰好作为中纬电离层向主槽区过渡的参考点,而 Hobart 站和 Mawson 站分别处在电离层主槽的赤道向侧和极向侧, Syowa 站则恰恰位于槽底,靠极向处. 利用这四个站的资料,能研究主槽的许多典型的特性. 当然,如果在 Hobart 和 Syowa 之间还有其它一、二个站的观测数据,则所得结果就会更有代表性,因为通常认为,槽的最小值往往在 $\Lambda = 60°$ 附近.

我们选用了 1980 年的数据,主要研究了电离层 F_2 区临界频率 f_0F_2 和 F_2 区最小虚高 $h'F_2$ 随纬度和本地时的变化. 由于电离层主槽特性在白天呈现得并不明显,所以只选取了夜间的数据,即仅分析从黄昏的 18:00 至早晨 06:00 期间的资料,以便弄清主槽的日变特性. 为了弄清电离层主槽的季节变化特性,分别选取了三月、六月、九月和十二月的数据,用来代表秋冬春夏四个季节,因为是南北球的站,冬夏月份恰与北半球相反. 应该指出,我们所用的均是月中值数据.

三、结果和讨论

关于电离层主槽完善的形成理论至今尚未建立,但是槽区非常复杂的动力学相互作用表明,电离层主槽的出现涉及磁层电场和热层风作用下的等离子体重新分配,也涉及渊源于粒子沉降和太阳 UV 辐射的等离子体生成,还涉及通过电荷交换和复合过程造成的等离子体消失[6].

图 1 所示为冬季夜间临频 f_0F_2 随本地时和不变纬度变化的图形. 由图可知,电离层主槽真是个夜间现象,随不变纬度的增加,电子密度确实显示出先有个慢慢降低,后又有较快增加的过程.

图 2—4 是与图 1 相类似的图形,不过列举的是夏春秋其它不同季节的特性,与图 1 相比,图 2 所示的夏季图形就没有任何电离层主槽的迹象,而图 3、4 所示的春秋季图形,还能看到槽的某种微弱的显示. 由此可见,电离层主槽是在冬季夜间出现得最为明显.

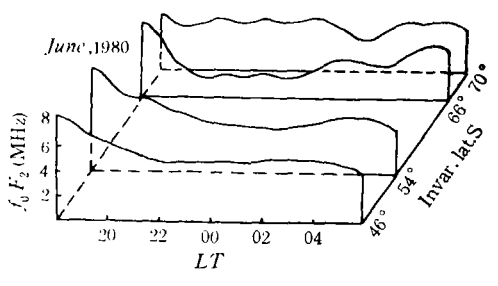

图 1 冬季临频 (f_0F_2) 随本地时和不变纬度的变化

Fig. 1 The variations of f_0F_2 vers. LT and Invar. lat. in winter

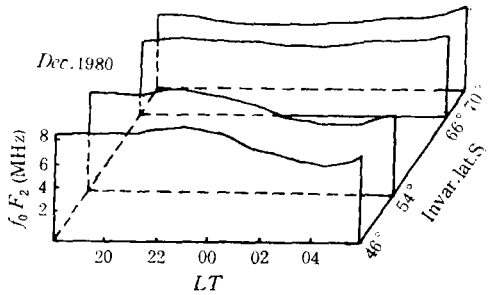

图 2 夏季 f_2F_0 随本地时和不变纬度的变化

Fig. 2 The variations of f_0F_2 vers. LT and Invar. lat. in summer

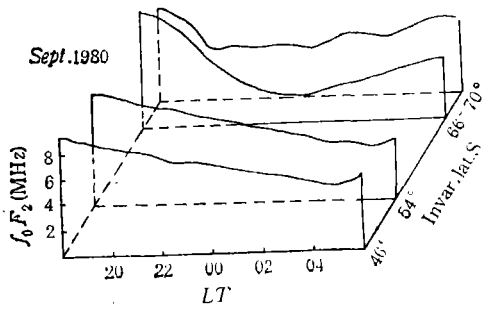

图 3　春季 f_2F_0 随本地时和不变纬度的变化

Fig. 3　The variations of f_0F_2 vers. LT and Invar. lat. in Spring

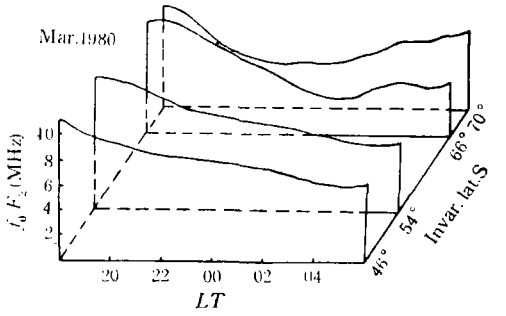

图 4　秋季 f_2F_2 随本地时和不变纬度的变化

Fig. 4　The variations of f_0F_2 vers. LT and Invar. lat. in Autumn

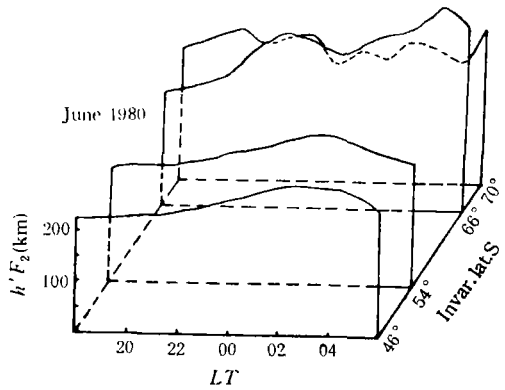

图 5　F 区虚高 $h'F_2$ 随本地时和不变纬度的变化

Fig.5 The variations of $h'F_2$ vers. LT and Invar. lat in winter

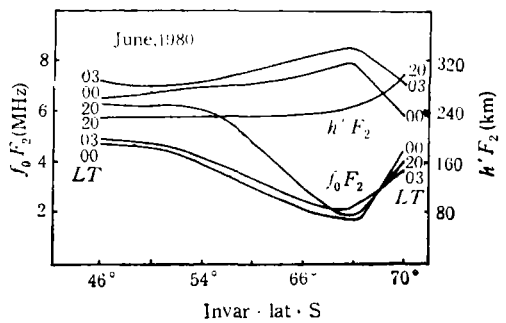

图 6　f_0F_2 和 $h'F_2$ 随不变纬度的变化

Fig. 6　The variations of f_0F_2 and $h'F_2$ vers. Invar. lat. in winter

由图 5 可以看出随着纬度增加，$h'F_2$ 有个先增加后降低的趋势，这恰与 f_0F_2 变化形成鲜明对照.

图 6 显示了电离层主槽的典型特征. 由图可知，电离层主槽的最小密度值在我们的研究中处在 66°S 附近，在其更高纬度一侧是槽的极向壁. 在三个的不同本地时，极向壁的值较接近，说明特性较稳定，但其密度梯度较陡峭. 在槽的赤道向侧的相当大纬度范围内，是槽的赤道向壁，其密度梯度较平缓，然在不同时段间却有显著变化. 图形表明，在不同的本地时，f_0F_2 和 $h'F_2$ 的特性是不一样的，这反映了槽在整个夜间，尤其在 20:00—03:00 之间，处于不断的变化和运动之中.

我们所得的结果与国外用卫星和地面测量所得的结果十分相似[7-10].

由于电离层主槽在夜间呈现得最为明显，我们首先研究维持夜间电离层电子密度的三大要素：(a) 来自磁通量管上部(即等离子层)的冷等离子体流；(b) 白天形成的电离层保持下来的部分；(c) 磁层沉降电子产生的大气电离形成的新的电子-离子对. 这些因素在不同纬度的电离层中所起的作用是不一样的.

电离层和等离子层间的耦合主要是磁层对流电场的作用下，由磁通量管实现等离子

体的输运[11]. 亚极光区电离层的最大特点是处在脉冲型的磁层电场作用下，交替处在短时间的扰动触发和长时间的恢复状态下，这恢复过程是通过磁通量管重新向电离层注入等离子体的过程，这种注入强度是随 L 值的增加而减小，因而造成夜间电离层电子密度随不变纬度增加而降低. 这种由等离子层给电离层注入带电粒子，或者说将磁通量管重新填满的过程在冬季夜间体现的作用最大，因而显示出明显的电离层主槽现象[12].

日间形成的电离层在夜间保持的程度取决于日照时间等因素，日照时间越长，电子密度值保持得愈高，等离子层注入的电子所起的作用愈小，所以在夏季不一定能观测到在 F_2 区最大值高度上的电子密度下降. 到了冬季，一昼夜间大部分时段见不到太阳(尤其是在较高纬度)，等离子层注入的粒子流在形成夜间 F 区过程中起明显作用. 由于这种注入的纬度变化特性，造成了电子密度随纬度增高而降低，显示出主槽现象.

磁层低能电子的沉降产生新的电子-离子对，这样电子密度的增加构成了主槽的极向壁，而且这种由于扩散型侵入的电子密度增长在较低高度上体现得较为明显. 至于主槽的赤道向壁则是中纬电离层的延伸，所以只是在 F_2 区峰值处体现得较为明显.

四、结 束 语

以上分析，从定性角度阐述了电离层主槽的基本特征，由于数据的局限性，未能作定量的深入研究. 但从主槽的形成机理上，我们特别强调了等离子层的粒子注入量随纬度变化与磁层粒子在极光区沉降在槽形成中的关键性作用，这种物理解释可认为是合理的. 进一步的研究应着力于不同磁活动条件下电离层主槽的动力学行为.

参 考 文 献

[1] Muldrew, D. B., *J. Geophys. Res.*, Vol. **70**, p. 7175, 1965.
[2] Sharp, G. W., *J. Geophys. Res.*, Vol. **71**, p. 1345, 1966.
[3] Dudeney, J. R., A. S. Rodger and M. J. Jarvis, *Radio Sci.*, Vol. **18**, p. 927, 1983.
[4] Rodger, A. S., C. Morrel and J. R. Dudeney, *Radio Sci.*, Vol. **18**, p. 937, 1983.
[5] Halcrow, B. W. and J. S. Nisbet, *Radio Sci.*, Vol. **12**, p. 815, 1977.
[6] Dudeney, J. R. et al., *Nature*, Vol. **295**, p. 307, 1982.
[7] Taylor, G. N., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **35**, p. 647, 1973.
[8] Mendillo, M. and J. A. Klobuchar, *J. Geophys. Res.*, Vol. **80**, p. 643, 1975.
[9] Mendillo, M. and C. C. Chacko, *J. Geophys. Res.*, Vol. **82**, p. 5129, 1977.
[10] Bowman, G. G., *Planet. Space Sci.*, Vol. **17**, p. 777, 1969.
[11] Spiro, R. W., R. A. Heelis and W. B. Hanson, *J. Geophys. Res.*, Vol. **83**, p. 4255, 1978.
[12] Кринберг, И. А. и Тащилин, А. В., Ионосфера и Плазмосфера, Глава Б, М: Наука 1984.

The Study of Main Ionospheric Trough from Multi-station Observations

Cao Chong

(China Research Institute of Radiowave Propagation)

Abstract

This paper presents the principal characteristics of main ionospheric trough with analysis of observational data from four ionosonde stations located between invariant latitudes $\Lambda=46$—70°S. The results show following properties of main ionospheric trough: (1) the trough manifests one-self mostly in winter night; (2) the trough has two features: low electron density and large virtual height, (3) the characteristics of equatorial edge and poleward edge of trough are different; (4) the trough is in unceasing motions and variations during night.