

夜间 f_0F_2 存在季节异常现象

索玉成 李永生 魏民军
(中国电波传播研究所, 新乡)

摘 要

本文用 1975.12—1986.12 我国 9 个电离层站的资料分析得出,在一定的纬度和太阳活动条件下,夜间 f_0F_2 存在季节异常现象。夜间季节异常现象具有两个明显的特点: 只有低纬才具有夜间季节异常特征; 太阳活动高年夜间季节异常的程度增加。夜间季节异常是白天 f_0F_2 季节异常现象的延续, 夏半球至冬半球的大气流动造成的中性气体浓度比 (O/O_2 和 O/N_2) 的季节变化,是形成 f_0F_2 季节异常的根本原因。并初步分析了夜间季节异常的低纬局限性及随太阳活动变化的成因。

尽管用早期的 Chapman 电离层形成理论来解释 F_2 层是不太合适的,但由于历史的原因,人们习惯上仍将 F_2 层中偏离 Chapman 理论的客观存在的现象叫做异常现象,如日异常,赤道异常,季节异常等等。本文讨论夜间 f_0F_2 的季节异常问题。所谓季节异常,本文中指的是 f_0F_2 的季节变化规律明显地偏离 Chapman 理论,冬季 f_0F_2 的值接近于甚至超过相应时刻的夏季值,或者说夏季 f_0F_2 值接近于甚至低于相应时刻的冬季值。

本文用我国九个站 1975.12—1986.12 共 11 年多的 f_0F_2 月中值资料 $\overline{f_0F_2}$, 分析得出,不仅白天 $\overline{f_0F_2}$ 存在着季节异常现象(白天季节异常现象早已为众多的作者指出^[1,2]),在一定的纬度、太阳活动条件下,夜间 $\overline{f_0F_2}$ 也存在着季节异常现象。

下面以午夜 00:00LT 的 $\overline{f_0F_2}$ 资料为例分别简略讨论 $\overline{f_0F_2}$ 的季变曲线随纬度和太阳活动水平的变化情况及其成因。

一、低纬才具有夜间季节异常现象

图 1 为我国满洲里 ($49.58^\circ N$, $117.45^\circ E$), 北京 ($40^\circ N$, $116.3^\circ E$), 重庆 ($29.50^\circ N$, $106.42^\circ E$), 广州 ($23.13^\circ N$, $113.35^\circ E$), 海口 ($20^\circ N$, $110.03^\circ E$) 等五个纬度不同的电离层站在不同太阳活动年份时的夜间 $\overline{f_0F_2}$ 的季节变化曲线。

可以看出,在同一年里, $\overline{f_0F_2}$ 曲线的夏季部分(6—8月)在中纬度尚属正常。例如 1977 年满洲里、北京、重庆比较正常。但是到了低纬广州、海口时,季变曲线的夏季部分开始明显下凹,整个曲线呈双峰状。冬、夏值之间的差别相对缩小,说明低纬度出现季节异常趋势而中纬度没有这种现象。再分别看一下图中其它年份的曲线就可知道,无论太

表 1 季节异常系数

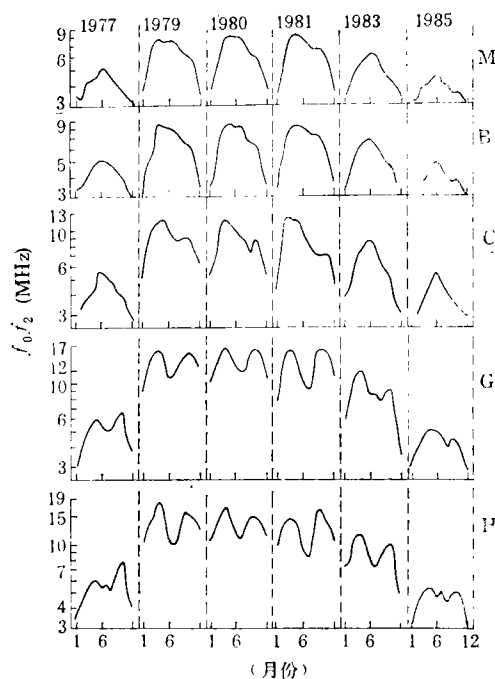
年 份	满洲里	北京	重庆	广州	海南
1976	0.69	0.65	0.71	0.66	0.68
1977	0.64	0.62	0.55	0.57	0.64
1978	0.47	0.41	0.33	0.37	0.47
1979	0.47	0.39	0.49	0.75	0.88
1980	0.45	0.41	0.60	0.90	1.00
1981	0.50	0.44	0.53	0.94	1.22
1982	0.53	0.49	0.47	0.96	1.09
1983	0.55	0.49	0.51	0.80	1.16
1984	0.59	0.52	0.45	0.46	0.67
1985	0.72	0.68	0.55	0.59	0.60
1986	0.71	0.68	0.67	0.61	0.79

阳活动高年还是低年、低纬地区几乎均存在着季节异常趋势(但是程度上差别较大)而中纬度则没有这种趋势。

令 $D = \overline{f_oF_2}(\text{冬}, 00:00\text{LT}) / \overline{f_oF_2}(\text{夏}, 00:00\text{LT})$ 为季节异常程度因子, 表 1 是根据此算出的不同站不同年份的程度因子。这里以前冬的 12 月, 后冬的 1 月份之平均值代表

冬季值, 6, 7 月份之平均值代表夏季值。

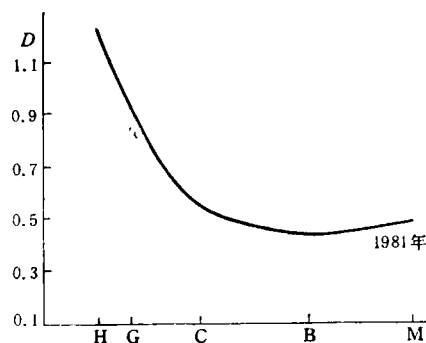
图 2 是从表 1 中抽出 1981 年的数值绘成的, 表示不同纬度台站的季节异常程度因子的变化情况。可以看出纬度越高, 异常程度越小; 纬度越低, 异常程度越大, 低纬站海口, 广州的异常程度明显地大于中纬满洲里。



M: Manzhouli, B: Beijing, C: Chongqing,
G: Guangzhou, H: Haikou

图 1 我国五个电离层站 00:00LT $\overline{f_oF_2}$ 季节变化曲线

Fig. 1 The variations of $\overline{f_oF_2}$ of five ionospheric stations of China at midnight (00:00LT).



H: Haikou, G: Guangzhou, C: Chongqing,
B: Beijing, M: Manzhouli

图 2 1981 年不同纬度的台站季节异常因子 (D 因子) 的变化情况

Fig. 2. How the factor D of seasonal abnormal changes with the Various stations with different latitude in 1981

二、太阳活动高年夜间季节异常程度增加

图 1 中,同一个站在太阳活动高年 $\overline{f_0F_2}$, 季节变化曲线的夏季下陷程度大些,而低年程度要小些。例如海口站 1981 年的夏季值下陷甚至比冬季值还要低;而 1977 年(低年),海口站的夏季下陷程度则要比高年的 1981 年小得多。

图 3 为海口站、广州站、满洲里站 00:00LT 的季节异常程度因子 D 的逐年变化情况,其中满洲里站的曲线分布较平、较低,说明无明显的季节异常特征,亦无明显的随太阳活动水平而变化的特征。而对低纬来说,同一站的季节异常程度与太阳活动水平呈明显的正相关。太阳活动水平越高,低纬季节异常程度越明显;反之亦然。由该图还可看出广州站各年的异常程度明显地低于海口。

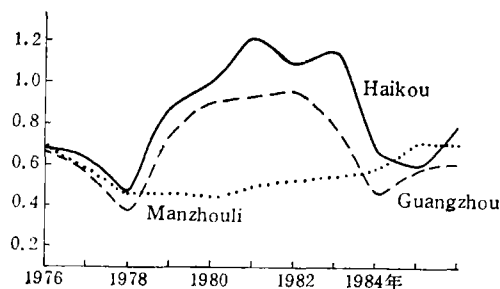


图 3 海口、广州、满洲里站季节异常因子 (D 因子) 的逐年变化情况

Fig. 3 The variations of seasonal abnormal factors D of Haikou, Guangzhou and Manzhouli during 1976—1986

三、夜间季节异常原因的初步讨论

1. 中性气体 (O , O_2 , N_2) 密度的季节变化产生电子浓度的季节异常

火箭和非相干散射的实测结果^[3,4]表明,在 130km 高度上, O/O_2 夏季值约为 1, 冬季值约为 3。在 240km 高度上, O/N_2 的冬季值约比夏季值大 2 倍或 3 倍。而理论计算结果^[3,4]表明,在 200km 左右的高度上, f_0F_2 要想产生明显的季节异常效应, O/N_2 的冬季值至少应是夏季值的 2 倍以上。实测的中性气体浓度比的季节变化满足产生 f_0F_2 季节异常的需要,因而可以认为, $\overline{f_0F_2}$ 的季节异常是由 O/O_2 和 O/N_2 的季节变化造成的。关于造成中性气体比季节性变化的原因,目前较普遍的看法是,大气加热而形成的大气环流将氧原子从夏半球带至冬半球,从而造成冬半球氧原子数量相对增多,其中性成份浓度比 O/O_2 和 O/N_2 也随之增加;同时夏半球氧原子数量相对减少,其中性成份浓度比 O/O_2 和 O/N_2 也随之减少。

2. 低纬夜间季节异常是中午季节异常的延续

如前所述,从 O/O_2 和 O/N_2 的季节变化可以推导出 $\overline{f_0F_2}$ 的季节变化。但到目前

为止 O/O_2 和 O/N_2 季节变化的实测资料大部分是白天尤其是正午前后的, 夜间的资料很少见。因此不可能用直接探测的夜间 O/O_2 和 O/N_2 资料来讨论夜间 $\overline{f_oF_2}$ 的季节异常。

但实际上中性成份浓度比的日变化不大。表 2 为 1965 年 3 月份和 1966 年 3 月份两次火箭飞行测得的中性气体浓度资料^[4]。第一次试验(三颗火箭)时的太阳天顶角均在 81° 左右, 第二次试验时的太阳天顶角是 46° 左右(正午前后)。天顶角条件相差约 35° (一个是中午前后, 一个是早、晚前后), 但中性浓度比也仅相差 10% 左右。据此可初步推断, 既然晨、昏时的中性成份浓度比与正午时的中性成份比相差无几, 夜间和白天, 特别是前

表 2 二次火箭试验所测的 220 km 高度上的 O, N_2 分布 ($10^9/\text{km}^3$)

日 期	时 间	天顶角	高度 (km)	N_2	O	O/N_2
1965 3.2	17:13	81°	220	0.92	2.30	2.50
1965 3.2	07:19	81°	220	0.81	2.00	2.47
1965 3.4	17:15	81°	220	1.10	2.70	2.45
1965 3.2	12:59	46°	220	1.00	2.80	2.80

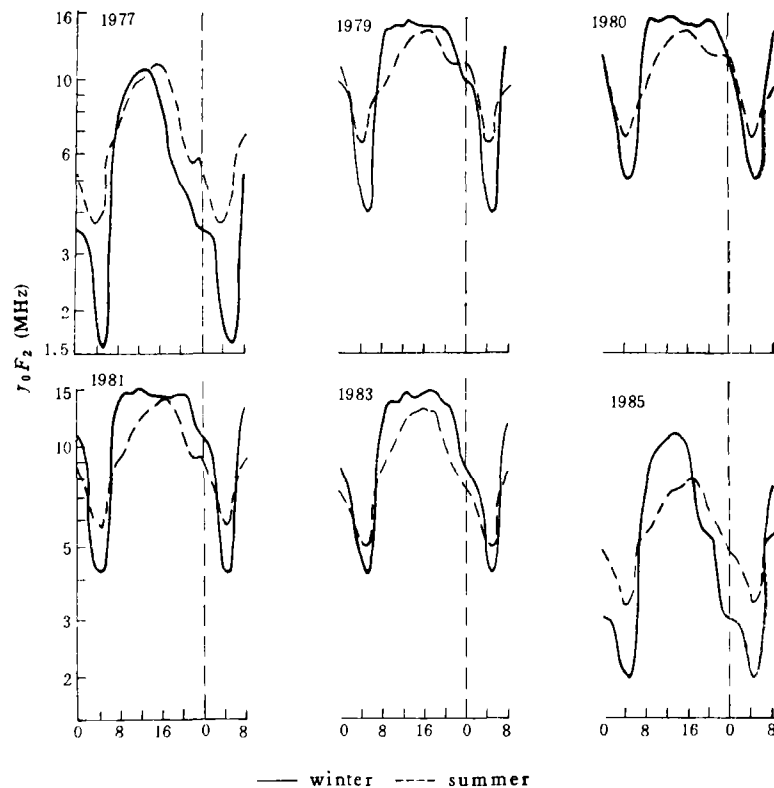


图 4 海口站冬季和夏季 $\overline{f_oF_2}$ 日变化曲线之比较

Fig. 4 The comparison between the curves of daily variation of $\overline{f_oF_2}$ of winter and summer at Haikou in various years

半夜和白天的中性成份浓度比相差也不会太大,至少有一定的连续性.中性成份浓度比的变化既然是白天 $\overline{f_0F_2}$ 季节异常的原因,也应该造成夜间 $\overline{f_0F_2}$ 季节异常.

另外,事实上,夜间 $\overline{f_0F_2}$ 和白天 $\overline{f_0F_2}$ 的季节变化的确具有延续性. 图 4 为海口站不同年份的 $\overline{f_0F_2}$ 日变化曲线冬、夏情况比较,图中仍以 12 月、1 月之平均值代表冬季值,以 6 月 7 月份之平均值代表夏季值. 可看出,在高年(1979—1983 年),约从早晨 8 点钟左右开始直至夜间 3 点左右的冬季曲线均高于或接近于夏季值,即均存在季节异常现象. 因而理所当然地可以认为夜间低纬 $\overline{f_0F_2}$ 的季节异常是白天 $\overline{f_0F_2}$ 季节异常现象的继续. 其原因也应是相同的.

3. 高年异常程度增加

太阳活动高年大气层加热效应随之增加,由夏半球至冬半球的环流相应增强,从而使得夏半球至冬半球的中性成份特别是氧原子的输运过程加强,造成冬季 O/O_2 和 O/N_2 比低年增大, $\overline{f_0F_2}$ 的季节异常程度也随之比低年加大.

4. 关于只有低纬才具有夜间季节异常特征

为什么只有低纬才具有夜间季节异常特征而中纬却没有呢? 我们认为这可能是由热层风造成的. 前已说明,较轻的氧原子或者说 O/O_2 和 O/N_2 较大的中性气体被从夏半球带至冬半球,使得冬季 O/O_2 和 O/N_2 增加,夏季 O/O_2 和 O/N_2 减少.

但同时电离层高度上还存在着水平中性风或热层风. 热层风在北半球的风向日变化是顺时针旋转的. 白天由低纬吹向高纬,而夜间却由高纬吹向低纬. 冬季夜间热层风又把夏半球至冬半球气流带至中纬的较多的氧原子吹回到低纬附近. 使得中纬的中性比例恢复正常因而中纬夜间不出现明显的季节异常现象,只有低纬才出现夜间季节异常现象.

四、小 结

本文用我国 9 个站连续 11 年多的电离层 $\overline{f_0F_2}$ 资料分析得出,低纬夜间 $\overline{f_0F_2}$ 存在季节异常现象,且其异常程度随太阳活动水平的增加而增加. 这一结果与过去许多作者认为的夜间 $\overline{f_0F_2}$ 不存在季节异常的结论^[1,2]相反.

初步讨论了低纬夜间 $\overline{f_0F_2}$ 季节异常现象的形成原因,可归纳为:

1. 低纬夜间 $\overline{f_0F_2}$ 季节异常是正午 $\overline{f_0F_2}$ 季节异常的延续;
2. 夜间季节异常和正午季节异常的原因是相同的,都是由 O/O_2 和 O/N_2 的季节变化造成的. 一则因为夜间季节异常是中午季节异常的延续[见图 4],二则因为一天中 O/O_2 和 O/N_2 随太阳天顶角的变化不大[见表 2],冬季白天较高的 O/O_2 和 O/N_2 (或夏季较低的 O/O_2 和 O/N_2) 不会在夜间突然消失.
3. 夏半球至冬半球大气环流和热层风的综合影响,形成了夜间只有低纬有 $\overline{f_0F_2}$ 季节异常现象而中纬不存在夜间季节异常.
4. 太阳活动高年,大气层加热效应比低年显著,由夏半球至冬半球的环流效应显著,所以低纬夜间季节异常程度也显著,并且这种现象有向中纬扩展的趋势.

因夜间异常现象只出现在低纬区,理应再从赤道异常现象的角度考虑其成因,这有待于进一步的分析研究.

由于资料所限, 夜间 $\overline{f_0F_2}$ 存在的季节异常现象是我国低纬站特有的现象还是全球低纬区的普遍现象, 尚不得而知。

参 考 文 献

- [1] Duncan, R. A., *J. A. T. P.*, Vol. **31**, p. 59, 1969.
- [2] Marsha, R. Torr and D. G. Torr, *J. A. T. P.*, Vol. **35**, p. 2237, 1973.
- [3] Rüster, R., *J. A. T. P.*, Vol. **35**, p. 1317, 1973.
- [4] Hall, L. A., *J. Geophys. Res.*, Vol. **72**, p. 3425, 1976.

There is Seasonal Abnormal Phenomenon in Night Time f_0F_2

Suo Yu-chang Li Yong-sheng Wei Min-jun

(China Research Institute of Radiowave Propagation, Xinxiang)

Abstract

Using data of nine ionospheric stations of China during Dec., 1975—Dec., 1986, it is presented that under the conditions of certain latitudes and solar activity, night time f_0F_2 shows a seasonal anomaly similar to that of the daytime f_0F_2 . This anomaly obviously shows two features: it only occurs in low latitudes; the higher solar activity is, the larger extent of the degree of the anomaly is to. The night time seasonal abnormal phenomenon is the continuation of daytime seasonal abnormal phenomenon. The primary mechanism of the phenomenon is the seasonal variation of neutral air (O, O₂, N₂) concentration ratio O/O₂ and O/N₂, caused by the summer hemisphere to winter hemisphere air flow. It is analysed why the night time seasonal abnormal phenomenon is limited in low latitudes and why the abnormal degree changes with solar activity.