

# 电离层峰区的等离子体漂移\*

张顺荣 苏元智 黄信榆

(中国科学院武汉物理研究所, 430072)

## 摘 要

根据垂测数据、利用伺服模式讨论了中低纬上空电离层峰区等离子体垂直漂移速度的日变化形态及其随不同季节和不同纬度等的变化规律。揭示了漂移速度的凌晨凹陷与日出凸起现象,指出了可能的形成机制。

**关键词** 垂直漂移,伺服模式,极化场

## 一、引 言

近年来,依据现有的电离层理论,从垂测数据推求电离成分的漂移运动以及中性风运动状态的工作日趋活跃<sup>[1-3]</sup>。1986年, Buonsanto 利用  $N_m F_2$  研究了低纬地区电离成分的输运通量<sup>[1]</sup>, 1990年, Buonsanto 根据  $h_m F_2$  讨论了中纬地区中性风一个太阳活动周的状况<sup>[3]</sup>。一般上,低纬区  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  漂移的相对作用较大,而中纬区则中性风更重要。作者曾讨论过位于中低纬地区的武昌站在太阳活动低年,由中性风与电场引起的垂直漂移的变化规律<sup>\*\*</sup>。在该地区,中性风与  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  漂移同时对电离层电子浓度的分布与变化产生影响,因此在分析某些电离层现象时,必须兼顾两者的作用,不能只考虑其中之一。这是中低纬地区的特点,有深入探讨的必要。此外,在研究有关中低纬电离层的理论模式时,对于等离子体的漂移情况,如没有更好的探测数据,则利用某种适当的方法,由垂测数据推算的结果,也将有重要的参考价值。这也是本文的目的之一。

我们利用三个中低纬台站(外加一个中纬站,以作比较)的垂测数据,通过模式计算,比较全面地讨论中低纬地区,在四个不同季节由中性风与  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  漂移产生的垂直方向上漂移速度月平均值的日变化形态。还分析了这种漂移随纬度的变化,并指出中性风与  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  漂移对一些特殊现象的形成所起的作用。

## 二、基本方法简介与讨论

本文采用 Rishbeth 提出的伺服模式(servo model)<sup>[4]</sup>。根据伺服理论有如下关系:

本文于1991年10月3日收到。

\* 国家自然科学基金资助的课题。

\*\* 张顺荣等,用伺服模式研究  $F_2$  层等离子体漂移,第四届全国电波传播学术会议文集,武汉,第75—78页,1991

$$W = H \frac{dz_m}{dt} + (\alpha - 1) \frac{q_m}{N_m} H - \frac{k\alpha c - 1}{k} \beta_m H + \frac{D_m \sin^2 I}{2H}. \quad (1)$$

式中  $W$  为中性风和  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  引起的垂直方向上的漂移速度。  $W$  与南向中性风  $U$ , 和  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}/B^2$  的北向分量  $V_{\perp N}$  在磁倾角  $I$  处的关系为  $W = V_{\perp N} \cos I + U \cos I \sin I$ , 这两分量对  $W$  的贡献之比同  $\sin I$  有关, 因此一般在较高纬度, 中性风分量对  $W$  贡献较大, 在较低纬度则  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  分量贡献较大。

在(1)式中, 可由现有理论公式并借助 MSIS86、IRI86 提供的中性成分密度与中性、离子和电子温度值直接计算的参量包括,  $H$  (氧原子标高)、 $q_m$  (峰高处电子产生率, 以下脚标为  $m$  者均为  $F_2$  层峰高处参量)、 $z_m$  (约化高度,  $z_m = (h_m F_2 - h_b)/H$ , 其中  $h_b$  为扩散与复合达到平衡时的高度, 可直接求出)、 $\beta_m$  (电子复合率)、 $D_m$  (双极扩散系数)、 $k$  (复合率标高系数, 在考虑由  $O_2$  与  $N_2$  两种成分引起的复合时,  $k = 1.875^{[1]}$ )、 $\alpha$  (峰值浓度以上的极厚因子, 按 Chapman- $\alpha$  层理论模型,  $\alpha = 2.82$ )。

需要说明的是半经验参数  $c$ 。Rishbeth<sup>[4]</sup> 采用的是根据理论考虑所得的中纬值  $c = 1.6$  (晚上)/ $c = 1.25$  (白天), Buonsanto<sup>[2]</sup> 则取  $c = 1.73$  (晚上)/ $c = 1.33$  (白天) 作为低纬区值。我们的试算表明, 取白天和晚上的一组数 1.33/1.73 所得的平衡高度  $h_b$  只比另一组数 1.2/1.6 降低 2km 左右;  $c$  值的适当改变, 仅起一种“微调”作用, 一般不致使计算结果发生很大变化。因此本文取白天的  $c$  为 1.33, 夜晚为 1.73。我们注意到,  $c$  是根据伺服模式将扩散对电子浓度变化的贡献归并于复合损失项后的权重系数, 考虑到扩散为光滑过程, 我们将白天与夜间的  $c$  值光滑地衔接起来。

$N_m$  与  $h_m F_2$  为最大电子浓度及所在高度。对后者, 根据 Dudency 公式<sup>[5]</sup> 采用实测  $f_o F_2$  与因子  $M(3000)F_2$  来确定。通过与剖面换算结果比较, 发现这一推算方法, 在统计意义上是十分可靠的<sup>[6]</sup>。

使用伺服模式时需要注意, 所得的漂移速度  $W$  仅是  $F_2$  层峰区的值; 当峰高远离平衡高度时 (尽管这样的情况一般并不多见), 采用现有的模式可能会得出与实际相去较远的结果; 另外, 在赤道区, 由于垂直方向的扩散受到抑制, 是否还存在所谓的“平衡高度”就成问题了。因而该模式在赤道区使用时, 应慎重考虑以上情况。

### 三、数据选取与计算结果及讨论

我们所选台站的位置与资料情况列于表 1。

通过计算, 我们得到如下结果:

#### 1. 垂直漂移 $W$ 的逐月变化与季节特点

图 1 示出武昌站垂直漂移速度月均值的日变化曲线, 正值表示向上漂移; 按季节可分为四种基本型别。从中可以看出, 日变曲线大致呈“W”形。在上午 8:00—9:00 间和下午 18:00 前后, 分别出现向下漂移的极大值, 不妨称之为午前谷和午后谷。夜间则是很大的向上漂移。

在夏季 (图 1(a)), 漂移曲线上的这种午前谷很深, 午后谷并不显著。这时, 除午前谷附近约 4 个小时外, 全天都是向上漂移, 白天漂移速度在正午后转向。在秋季 (图 1(b)),

表 1

台站名	地理纬度	地理经度	地磁纬度	地磁经度	磁倾角	资料时间
WAKKANAI	45.4N	141.7E	35.3N	206.5	59.3	85年9月, 86年6月和 12月, 87年3月(低年); 82 年3、6、9和12月(高年)
YAMAGAWA	31.2N	130.6E	20.4N	198.3	43.8	
武昌	30.5N	114.4E	19.2N	184.4	44.5	86年5—12月 87年1—3月(低年)
OKINAWA	26.3N	127.8E	15.3N	196.0	36.4	同第一栏

除仍保持午前深谷外, 午后谷变深, 并逐渐下降以致一天中再次出现向下漂移。在冬季(图1(c)), 午前谷变浅并逐渐上升, 午后谷则继续下降以致整个白天时段都有较强的向下漂移。接着在春季(图1(d)), 两谷深度大体相等; 尔后, 午前谷加深, 午后谷变浅, 中午前后漂移速度的绝对值很小; 逐渐向夏季型过渡。

总之, 在白天, 夏季电离成分基本向上漂移, 冬季则有较强的向下运动。从中性风角度看, 在该地区(武昌)  $F_2$  层峰高附近, 夏季风主要吹向赤道, 冬季则吹往极区。这与其它地区的观测结果是一致的<sup>[7,8]</sup>。

此外, 观察各图明显可见, 在凌晨 4:00 左右, 日变曲线出现下陷, 在近日出的 6:00 前后, 曲线上凸。冬季的这种下陷上凸现象更为醒目。下节我们还将继续讨论  $W$  的这种不寻常变化。

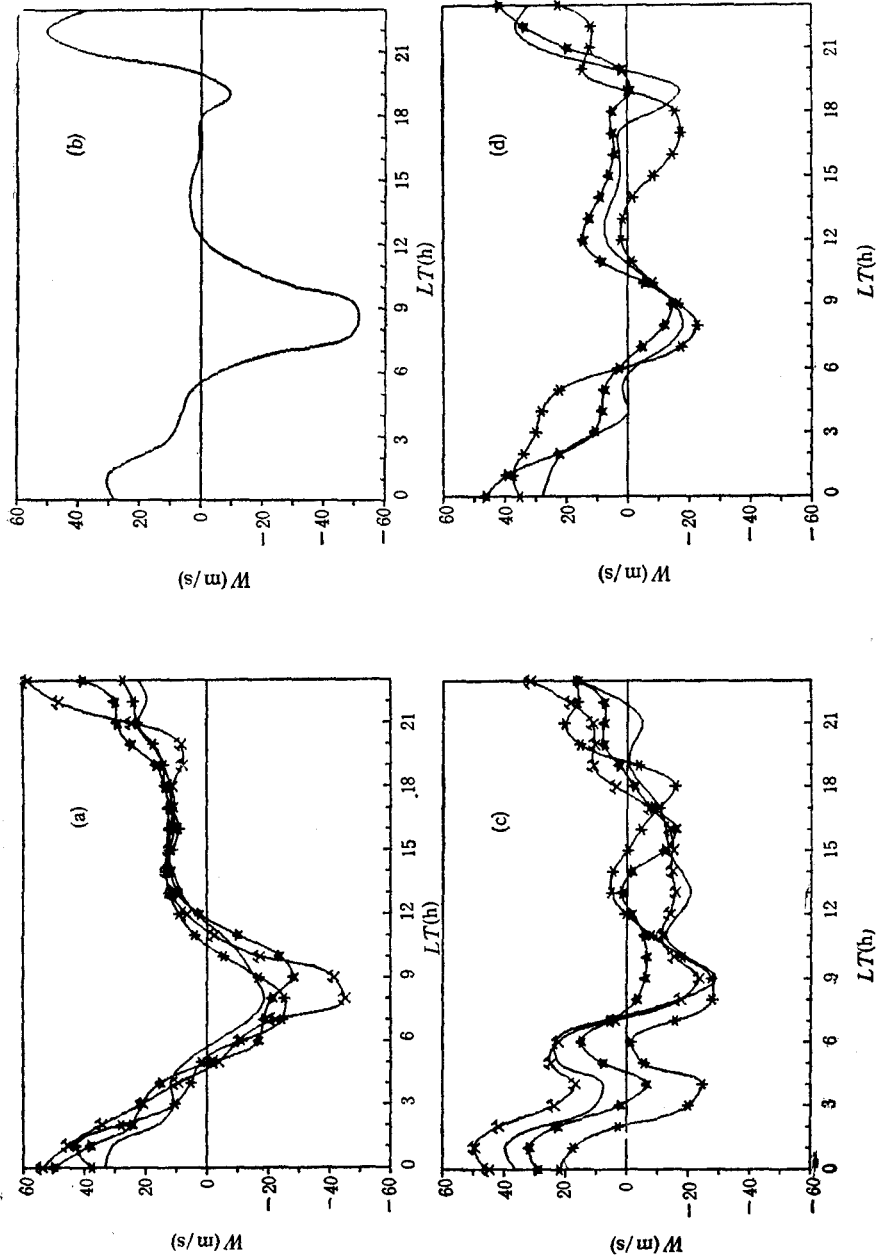
## 2. 垂直漂移速度 $W$ 随纬度的变化

图 2 示出太阳活动低年四个站的  $W$  日变曲线。首先需说明, 在图 2(a) 和图 2(b) 中, 日本三站在午前都出现很大的向下漂移; 如此大的  $W$  值一般不太可信。因为, 此时的电离层峰高偏离平衡高度太远(约 50km), 已超出现有模式的适用范围, 这时其它因素, 如中性大气原子与分子含量比的变化, 也将对峰高的偏离起不可忽略的作用<sup>[9]</sup>。总起来说, 四站的曲线各有差异, 尤其是 6、9 两月, 武昌站与日本三站(包括纬度相近的 YAMAGAWA) 显著不同。我们注意到, 这三站基本位于赤道异常的北驼峰附近, 而赤道异常在东亚地区具有明显的经度效应<sup>[9]</sup>。是否武昌站同其它三站在 6、9 两月的明显差异, 与这种赤道异常的经度效应有关, 看来值得进一步探讨。

但是, 从图 2 仍能发现某些随纬度变化的规律性。经度相近的 YAMAGAWA 与 OKINAWA 两站, 纬度较高者, 夜间向上分量较大, 而白天分量基本无明显差异。这种情形易于理解: 其一, 如前所述, 随着纬度增大,  $W$  中的中性风分量贡献增大, 反之电磁分量增大; 其二, 一般说, 由于离子曳力的关系, 夜间中性风较白天大, 而且电磁分量与中性风分量全天都基本上反相位。

从图中还可看出, 纬度相近、经度相隔一个时区的武昌站与 YAMAGAWA 站, 在 12 月与 3 月,  $W$  形态很相似。

再看上文提及的下陷与上凸现象。可以发现, 纬度愈低, 越加显著; 冬季最显著; 中纬的 WAKKANAI 站较不明显。我们认为, 同时包含了中性风与  $E \times B$  贡献的  $W$  的这种



— Jun., Sep., Dec., Mar. -\*- May, Oct., Feb. -\*- Jul., Nov., Apr. -X-X Aug., Jan.  
 (a) summer type (May-Aug., 1986) (b) fall type (Sep., 1986) (c) winter type  
 (Oct.-Dec., 1986, and Mar., 1987) (d) spring type (Feb.-Apr., 1987)

图1 武昌站 1986—1987 年 12 个月垂直漂移的日变化曲线  
 Fig. 1 Diurnal curves of the vertical drifts over Wuchang for the 12 months between 1986—1987

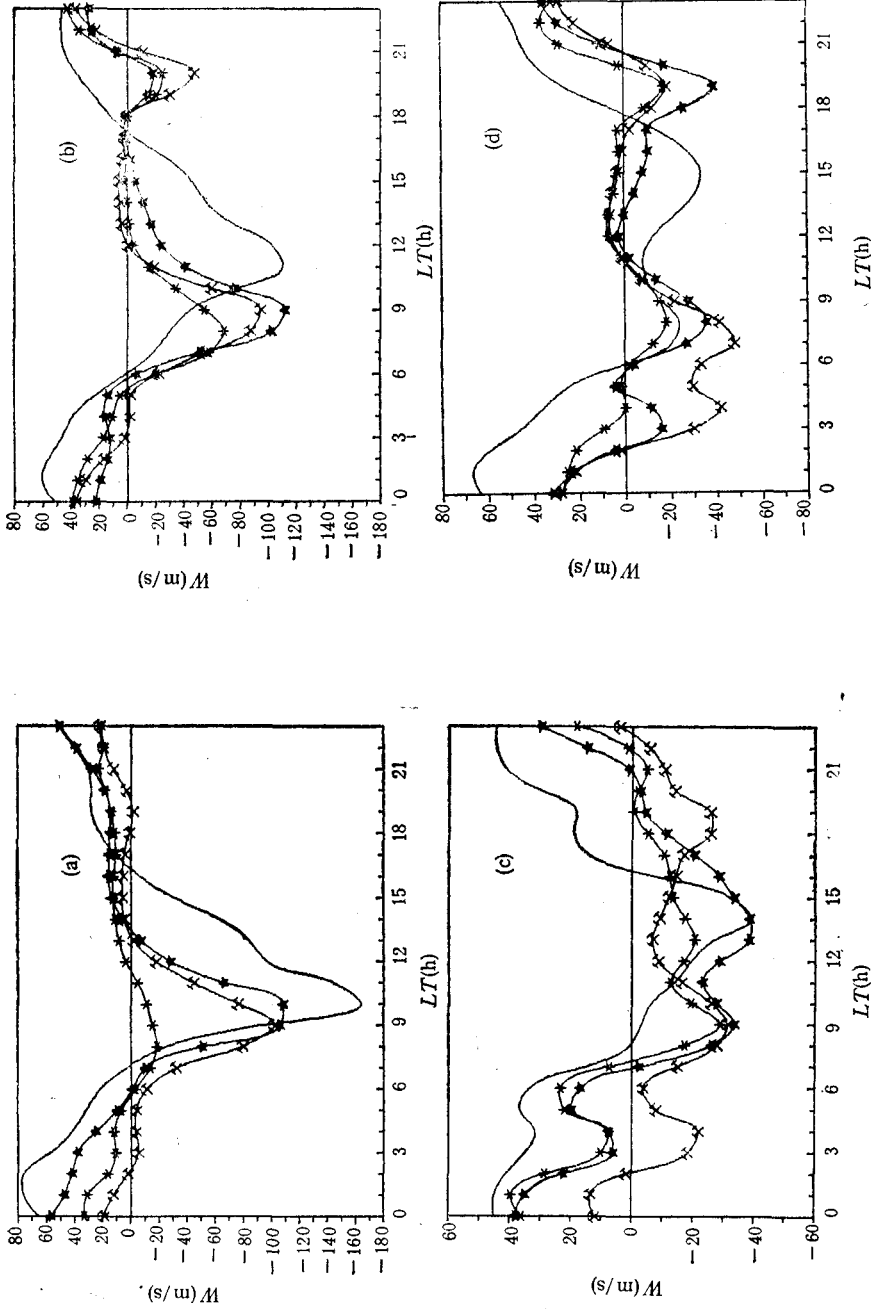


图 2 四站垂直漂移  $W$  的日变化曲线

Fig. 2  $W$  diurnal course of 4 locations in 4 months indicating the seasonal and latitudinal features

变化,不太可能单纯由中性风的特殊变化形成,因为我们知道,中性风随时间的变化一般是较平稳的<sup>[7,8]</sup>。鉴于 $W$ 的这种凌晨凹陷与日出凸起,属于一种中低纬现象,我们推测,这种变化是电磁漂移引发的效应。

为了试图尽可能消除 $W$ 中的中性风的影响,以便更好地探讨  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  漂移的变化情况,不妨选取中性风在 $W$ 中起重要作用的中纬 WAKKANAI 站的 $W$ 图作为参考曲线,来进一步分析 $W$ 的凌晨与日出形态。我们假定纬度的适当改变,不会引起中性风的很大变化<sup>[9]</sup>。考察其它曲线对中纬站曲线的相对变化,可得下列结果: $W$ 凌晨起伏,除冬季外,在春秋季节也清楚可见,只在夏季不甚显著;而且一般说,下陷的幅度比上凸的大。以上是太阳活动低年的情况;至于高年,因篇幅所限,不再详述,只是指出, $W$ 值的大小趋于减小; $W$ 起伏现象(相对中纬的变化),在春秋季节和冬季都比低年明显,而且夏季也有发生。

### 3. $W$ 凌晨起伏现象的可能形成机制

上文提及的 $W$ 曲线上的凌晨凹陷与日出上凸现象,目前尚无其它报道。倒是日落后时突增的向上漂移已有不少讨论,且大多从  $F_2$  层发电机产生的极化场的角度来解释其成因<sup>[10-13]</sup>。我们这里不再重复前人的理论描述,只是指出,下述三个条件对极化场的形成至关重要:(1)存在产生发电机效应的东西向驱动风场;(2) $F$ 层与 $E$ 层不发生场向电流的短路;(3)日夜交界线附近的 $E$ 层有足够的负载,不产生短路。

我们认为,可以用极化场理论来解释 $W$ 的凌晨凹陷行为。文献[11]的模拟结果,较为圆满地解释了日落后 $W$ 的向上增长,但未显现日出前的向下凹陷。之所以存在这种日出前与日落后差异,一般的解释是,日出前 $F$ 层浓度较低,以致 $E$ 、 $F$ 层间出现短路,不满足上述条件(2),从而削弱了极化场<sup>[10,12]</sup>。

这种解释只强调了 $F$ 层浓度的影响,其实,在极化场的形成过程中, $E$ 层浓度亦是一相当敏感的参数<sup>[11]</sup>。但由于通常缺乏足够的日出或日落前后 $E$ 层高度上电子浓度的实测数据,人们对 $E$ 层电子浓度的处理过于理想化,因此分析的结果难免与实际有较大差别。

现已发现,白天 $E$ 层电子浓度并不对称变化, $f_oE$ 最大值在中午后的13—14:00出现<sup>[13,14]</sup>,日出前 $E$ 层浓度可能较日落后小,而不是文献[11]所采用的粗略的值。在此较小的日出前 $E$ 层浓度的条件下,上述条件(2)将得到满足,并导致在日出前出现足够大的极化场,形成 $W$ 曲线的凹陷现象。

最近,MU雷达观测证实<sup>[15]</sup>,在时间与地点均与本文分析的资料十分接近的两次观测中,凌晨出现了明显的东向漂移,而日落后的漂移则较小。这似乎表明,我们所设想的日出前较大、日落后的极化场,可能确实存在,并引起本文所揭示的凌晨特殊变化。限于篇幅,以上的讨论可能过于简化,今后确有从理论与实验的角度进一步充实之必要。

## 四、结 束 语

本文讨论了电离层峰区垂直漂移的日变化形态,及其随季节和纬度的变化规律。这种由垂测数据得到的结果,总体上是与最新的观测结果相符合的。此外还揭示出漂移速度日变曲线上显现的凌晨凹陷与日出凸起现象,这种与其它地区迥异的中低纬区现象,除夏季稍不明显外,其它季节均有出现,太阳活动愈强,则春秋季节更趋明显。此种凌晨起伏

过程,可能与 F 区发电机形成的极化场有关。

本文从大量的垂测数据反推电离层所处中性大气与电磁场背景的有关参数,就结果的系统性与完整性看,较之零星的直接观测,可能更具代表意义。鉴于伺服模式具有物理意义鲜明、计算并不庞杂以及结果稳定可靠等优点,虽然所得的垂直漂移包含了风与电磁漂移的共同作用,但通过多台站资料的联合分析方法,仍可看出各自的基本状况;我们认为,采用这种伺服模式,将十分利于人们从丰富的垂测资料中获取中性风与电磁漂移的大量信息,并为更深入的理论研究,提供有价值的参考材料。

致谢:感谢日本邮政省电波研究所和武汉物理所电离层观象台提供了垂测数据;李均研究员为本文的完成给予的热情指导。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Bounsanto, M. J., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 48, p. 365, 1986.
- [ 2 ] Bounsanto, M. J., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 49, p. 1093, 1987.
- [ 3 ] Bounsanto, M. J., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 52, p. 223, 1990.
- [ 4 ] Rishbeth, H., S. Ganguly and J. C. G. Walker, *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 40, p.767, 1978.
- [ 5 ] Dudency, J. R., *J Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 45, p. 629, 1983.
- [ 6 ] 张坤,苏元智和黄信榆,云南天文台台刊,第22太阳活动周峰年日地整体行为研究专集II,第185页,1990.
- [ 7 ] Oliver, W. L. et al., *J. Geophys. Res.*, Vol. 95, p. 7683, 1990.
- [ 8 ] Hedin, A. E. et al., *J. Geophys. Res.*, Vol. 96, p. 7657, 1991.
- [ 9 ] 陈培仁,空间科学学报,第10卷,第221页,1990.
- [ 10 ] Rishbeth, H., *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 43, p.387, 1981.
- [ 11 ] Heelis, R. A., P. C. Kendall, R. J. Moffett and D. W. Windle, *Planet. Space Sci.*, Vol.22, p.743, 1974.
- [ 12 ] Farley, D. T., E. Bonelli, B. G. Fejer and M. F. Larsen, *J. Geophys. Res.*, Vol. 91, p. 13723, 1986.
- [ 13 ] Coyne, T. N. R. and J. S. Belrose, *Radio Sci.*, Vol. 7. p. 163, 1972.
- [ 14 ] 王先林和黄泽荣,空间科学学报,第5卷,第199页,1985.
- [ 15 ] Saryo, T. et al., *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol. 41, p. 597, 1989.

## THE VERTICAL PLASMA DRIFTS NEAR THE IONOSPHERIC PEAK

Zhang Shun-rong Su Yuan-zhi Huang Xin-yu

(Wuhan Institute of Physics, Academia Sinica, 430072)

### Abstract

On the basis of the ionosonde data, this paper deals with the diurnal morphology of the plasma vertical drifts near the ionospheric  $F_2$  peak by means of Servo Model. And corresponding variations of the drifts with season and solar activity are also discussed over a group of lower mid-latitude locations. The results indicate a roughly good consistence with the experimental ones, while some new features, mainly the "hollow-at-dawn" and "buldge-at-sunrise" on the diurnal curves, are discovered.

**Key words** Vertical drift, Servo Model, Polarization field