

# 基于 JSCORS 的区域电离层时空特征分析\*

孙洪飞<sup>1</sup>, 马志军<sup>2</sup>, 胡伍生<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; <sup>2</sup> 江苏省吴江经济技术开发区建设局, 江苏 吴江 215200)

**摘要** 本文利用 JSCORS 中心提供的连续两天的 GPS 观测数据, 以及现有的提取垂直电离层延迟改正 VTEC 的软件, 采用格网技术和常规单层 VTEC 模型, 内插计算出区域格网的时空数据, 对所得数据进行处理分析, 得出了江苏南京附近大气层中电离层较为明显的特征。文章总结了该区域电离层的时空变化特征, 为后续研究电离层更加细化的特征及其在各方面的应用等提供了依据。

**关键词** CORS GPS 电离层延迟改正 VTEC 模型 格网 时空特征

中图分类号: P228.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-4097(2011)06-0003-03

## 1 引言

近年来, 随着电子与通信技术等现代科技手段的迅速发展, 电离层对人类航天活动中无线电波传播的影响已经成为电离层影响人类生产和生活的重要途径之一。当今社会, 建立和发展大规模高精度连续运行的 GPS 综合应用和服务系统已成为 GPS 技术发展的新趋势。这些大型 GPS 应用系统与电离层研究关系密切: 一方面, 为确保和提高这些网络及其所服务的(单频)GPS 用户的测量精度, 需研究精确的电离层折射改正模型或其他有效方法; 另一方面, 利用其拥有的大量高精度的 GPS 观测资料可有效提取电离层变化信息研究电离层的变化规律。

JSCORS 通过在江苏省全省范围内建设的 GNSS 连续运行参考站建立了一个高精度、高时空分辨率、高效率、高覆盖率的全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS) 综合服务网。利用 JSCORS 所提供的大量高精度的 GPS 观测资料, 可有效提取江苏省上空电离层变化信息, 建立较高精度的区域电离层延迟模型, 对于提高测量定位精度、深入认识电离层结构和变化规律、推动相关科学的理论研究和工程应用的发展意义重大。

## 2 基于 JSCORS 数据的电离层延迟信息提取及格网点电离层延迟信息的内插实现

本文采用双频 GPS 接收机在基准站上同时进行载波相位测量和伪距测量, 联合载波相位观测值和伪距观测值, 可精确求出该观测时刻 GPS 信号路

径中(测站至卫星)的总电子含量 TEC, 即获取电离层延迟信息。具体流程图如图 1 所示。



图 1 电离层延迟信息提取流程图

利用得到的区域穿刺点电离层延迟信息, 首先对穿刺点所在的区域划分格网, 力求穿刺点能均匀分布在格网及格网点周围, 便于格网点数据的内插实现; 然后采用电离层数学模型, 对得到的穿刺点电离层信息数据进行粗差的探测与剔除(以三倍中误差为限); 最后利用得到的“纯净”的数据来内插出格网点的电离层延迟信息数据。

文中采用区域单层电离层 TEC 的数学模型, 具体表达式为式(1)。

$$VIEC(\varphi, \lambda) = \sum_{n=0, m=0}^{n_i, m_j} E_{nm} (\varphi - \varphi_0)^n (S - S_0)^m \quad (1)$$

在式(1)中,  $n_i, m_j$  (可取 1, 2 等不同值) 为多项式系数;  $\varphi_0$  是基准纬度,  $S_0$  是观测中心太阳时角,  $(\varphi, S)$  为电离层穿刺点的纬度和太阳时角;  $E_{nm}$  为 TEC 模型系数;  $S - S_0 = (\lambda - \lambda_0) + (T_i - T_0)$ ,  $\lambda$  为信号路径与单层的交点(穿刺点)的地理经度,  $T_i$  为观测时间。

\* 基金项目: 国家 863 计划项目(No. 2007AA12Z228); 江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(No. BE2009663); 江苏省测绘科研基金项目(No. JSCHKY201101)。

在内插格网点电离层延迟数据的过程中,对每一个小时内的全部穿刺点电离层延迟数据进行平差计算,这样可以得到每个格网点连续48小时电离层延迟变化数据,然后便可对这些数据进行分析。

### 3 工程实例

在本文中,利用 JSCORS 提供的 2009 年 3 月 4 日和 3 月 5 日连续两天的数据,计算时,以一个小时为间隔,选取整点时刻,利用东南大学电离层研究小组编写的软件计算南京附近 10 个 JSCORS 基站上空的穿刺点电离层延迟信息,经过统筹考虑,划定方格网(5×5),如图 2 所示。

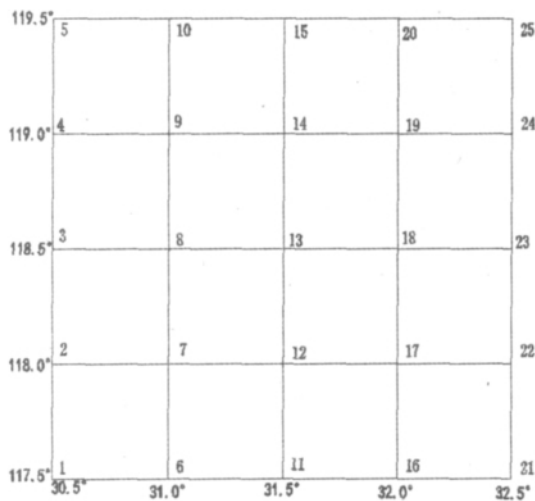


图 2 实验格网经纬度及格网点编号

利用建立的间接平差模型,每一小时的时间点上进行平差处理,计算出该时刻 25 个格网点的电离层延迟信息,总计每个格网点有连续 48 个小时的数据,数据格式分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 1 号点连续 48 小时电离层延迟数据(示例)  
(起始时间 2009 年 3 月 4 号 0 时)

时刻	0	1	2	3	.....
电离层延迟 (单位:TECU)	17.27604	10.99163	9.345272	1.043364	.....
时刻	24	25	26	27	.....
电离层延迟 (单位:TECU)	13.2855	11.5703	4.968473	2.101111	.....

表 2 时刻格网点的经纬度及其电离层延迟信息(示例)  
(起始时间 2009 年 3 月 4 号 0 时)

纬度	经度	电离层延迟(单位:TECU)
.....	.....	.....
30.5	117.5	17.27604
30.5	118.0	17.43541
30.5	118.5	17.4243
.....	.....	.....

将得到的数据进行绘图并分析,可得出区域电离层的时空变化特征。

#### 3.1 时间变化特征

依据本实例,已计算每个格网点连续 48 小时电离层延迟数据,格式见表 2。针对每个格网点,绘出 48 小时电离层延迟变化曲线图。由于格网点相对较多,受篇幅所限,下面就格网中 1、5、7、13、15、19 号点绘制出变化曲线图(见图 3),其余的就不一一绘出。根据计算结果和图表可知,电离层延迟改正有一个最重要的共性特征:对于一个相当的范围来说,电离层延迟改正随时间的变化是基本同步的。在 1 天的尺度上,基本上显示出相同的规律。从图 3 中可以看出,研究区域内的电离层延迟改正的时间变化具有如下特征:

① 电离层延迟改正随时间的变化存在以 1d 为周期的变化特征。也有研究证明,电离层延迟同样存在一种长周期的变化(例如与太阳活动有关),且幅度不小,限于篇幅本文不做详细讨论。时间分辨率更高的研究则表明电离层延迟改正也存在更短周期的变化,例如几百到几千秒周期的变化。

② 从图 3 中还可以看到,在某些时刻电离层延迟改正存在突发性的大的变化。

如图中 1 号点、5 号点在 20 时的电离层延迟改正突变。这种电离层的不规则变化的现象具体与哪些因素有关仍有待进一步研究。

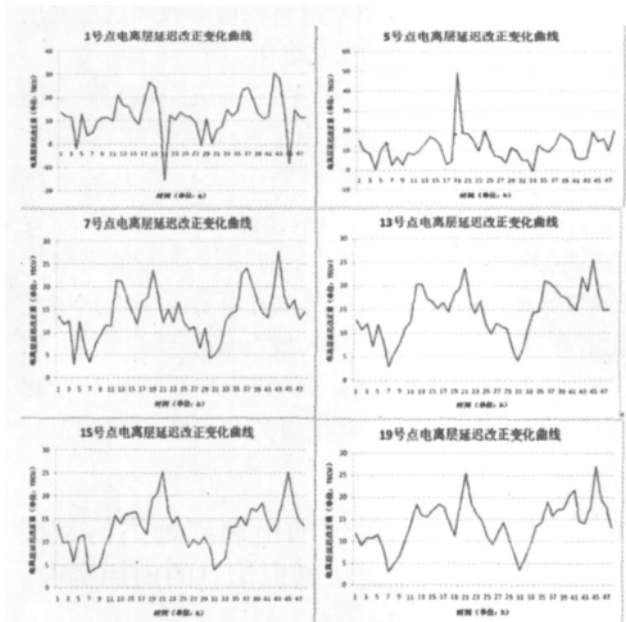


图 3 不同点的电离层延迟改正量变化曲线

#### 3.2 空间变化特征

本文中以四个小时为间隔,利用 surfer8.0 软件,采用 Kriging 内插算法,利用如表 3 所示的数据格式,分别绘出 2009 年 3 月 4 号一天 0 时、4 时、8

时、12 时、16 时、20 时的区域电离层延迟 VTEC 变化的等值线图(见图 4,单位:TECU)。从图 4 中可以看出,对研究区域来说,电离层延迟改正的空间变化是比较平缓的。同时,在某些时刻区域内的电离层延迟数值变化不大(3~9TECU),但在某些时刻(如本文中的 20 时),变化可达 30TECU。这种随比较明显的变化特征产生的机理值得进一步的研究。

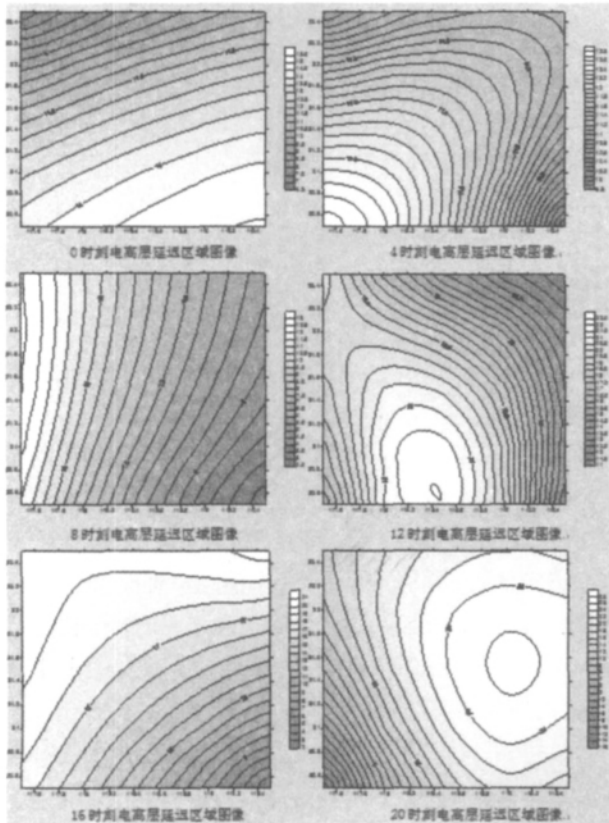


图 4 不同时刻的区域电离层延迟图像  
(图中横坐标为经度,纵坐标为纬度)

## 4 结 论

本文中利用 GPS 观测信息,利用双频观测法计算出电离层穿刺点处的 VTEC 信息,藉此借助格网、内插技术研究区域电离层的时空变化特征。主要结论如下:

(1) 电离层延迟改正变化具有周期性,以一天为周期变化,而且区域电离层随时间变化较快,区域电离层变化起伏随时间不同而变化较大;

(2) 对研究区域而言,电离层延迟变化较为平缓。

通过对南京附近上空区域的电离层延迟时空变化规律的研究将为后续的课题研究(包括电离层更为具体的变化规律以及电离层的时空变化特性等在工程、防震减灾等领域的作用)打下坚实的基础。

## 参考文献

- 1 袁运斌. 基于 GPS 的电离层监测及延迟改正理论与方法研究[D]. 武汉:中国科学院研究生院(测量与地球物理研究所),2002.
- 2 胡杰. 基于 JSCORS 的区域电离层延迟改正模型研究[D]. 南京:东南大学,2010.
- 3 赵晓峰. 区域性电离层格网模型建立方法的研究[D]. 武汉:武汉大学,2003.
- 4 Afraimovich E. L., Astafieva E. I., et al. Isolated ionospheric disturbances as deduced from global GPS network [J]. *Annales Geophysicae*,2004(22):47-62.
- 5 Triskova L., Galkin I., et al. Application of seamless vertical profiles for use in the topside electron density modeling. *Advances in Space Research*,2007(39):774-778.
- 6 Bilitza D. A correction for the IRI topside electron density model based on Alouette/ISIS topside sounder data [J]. *Advances in Space Research*,2004(36):838-843.

## Spatial and Temporal Characteristics of the JSCORS-based Regional Ionosphere

SUN Hong-fei<sup>1</sup>, MA Zhi-jun<sup>2</sup>, HU Wu-sheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China;

<sup>2</sup> Construction Bureau of Wujiang Economic and Technological Development Zone, Wujiang 215200, China)

**Abstract** In this paper, by using the GPS observation data lasts for two days provided by JSCORS center and the existed software to calculate the vertical ionospheric delay correction, the paper apply the Grid technology and the conventional single-VTEC model, then interpolation to calculate the spatial and temporal data in the regional grid. At last, the paper give the final data an analysis and the conclusion that the ionosphere has distinctive features in the region nearby Nanjing, Jiangsu Province. Writing this paper is to pave the way to the follow-up studies which will be more deeply.

**Key words** CORS; GPS; ionospheric delay correction; VTEC model; grid; spatial and temporal variation