

# 利用 GPS 对太阳耀斑进行监测及预报的方法研究

刘旭春<sup>1,2</sup> 易 武<sup>1</sup> 李维功<sup>3</sup> 杨 军<sup>4</sup>

(1 三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室,宜昌市大学路 8 号,443002)  
(2 北京建筑工程学院测绘系,北京市展览馆路 1 号,100044)  
(3 中航勘察设计研究院,北京市知春路 56 号,100098)  
(4 四维航空遥感有限公司,北京市三里河路 17 号,100037)

**摘 要:**为利用 GPS 对太阳耀斑进行监测和预报研究,从 IGS 网站上下载了全球分布的 60 多个 GPS 跟踪站的观测数据,对两起 X 级的太阳耀斑爆发时所引起的 TEC 变化进行了计算及分析。结果表明,中低纬度的 GPS 跟踪站在太阳耀斑发生期间均监测到了总电子含量的突增现象,并且与 X 射线辐射通量图具有很好的 consistency;差分 TEC 可以获得更精细的总电子含量的变化情况,更加适合于对太阳耀斑的细致研究;通过对相邻日绝对总电子含量的研究发现,在耀斑爆发前期,相邻日绝对总电子含量会出现大幅度的跳跃现象。  
**关键词:**GPS;TEC;太阳耀斑;监测;预报  
**中图法分类号:**P228.42

太阳耀斑的爆发将会对电离层造成严重的影响,从而造成无线电通讯的中断以及卫星元器件受损等情况,因此,对太阳耀斑的监测极具理论和现实意义。大量研究结果表明<sup>[1-6]</sup>,GPS 是监测电离层活动的最主要技术,而且广泛分布的 GPS 网络将成为提取全球电离层信息的唯一手段<sup>[7]</sup>。本文利用全球 IGS 网络 60 多个 GPS 跟踪站的观测数据,通过对 2000 年 7 月 14 日爆发的 X5.7 级和 2001 年 4 月 15 日爆发的 X14.4 级两起太阳耀斑的研究,给出了太阳耀斑爆发期间总电子含量的响应情况。并通过进一步分析,得出了根据总电子含量的变化情况对太阳耀斑进行预测、预报的实验性结论。

## 1 太阳耀斑的监测

为对太阳耀斑发生期间总电子含量的变化过程和响应特点进行监测,本文选取了 2000 年 7 月 14 日和 2001 年 4 月 15 日爆发的两起 X 级的太阳耀斑作为研究对象,在剔除数据质量欠佳的 GPS 台站后,每次共选取了 60 多个 IGS 网络的数据质量良好的向日面 GPS 跟踪站数据,每 30 s

输出一个 TEC 结果。现将两起耀斑发生时部分台站的 TEC 时间变化曲线绘制成图(图 1),每图各绘制了 2 h 的 TEC 变化情况,对于 2000 年 7 月 14 日的太阳耀斑(级别为 X5.7 级,开始、最大和结束时间分别为 10:03、10:24 和 10:43 UT)绘制的时间为世界时 10:00~12:00(图 1(a)和图 1(c));对于 2001 年 4 月 15 日的太阳耀斑(级别为 X14.4 级,开始、最大和结束时间分别为 13:16、13:49 和 15:35 UT)绘制的时间为世界时 13:00~15:00(图 1(b)和图 1(d))。两起耀斑差分后的 TEC 变化情况如图 2 所示。

通过图 1 和图 2 的比较可以看出,差分 TEC 曲线更加适合观察 TEC 的细微变化,而且通过与 X 射线辐射通量图的比较(图 3)可以看出,无论是时间还是响应幅度,均具有很好的 consistency,从而说明了利用 GPS 对太阳耀斑进行监测的可行性和正确性。

## 2 太阳耀斑的预报

本文采用如下两种方法对 2001 年 4 月 15 日的太阳耀斑进行了预报研究。

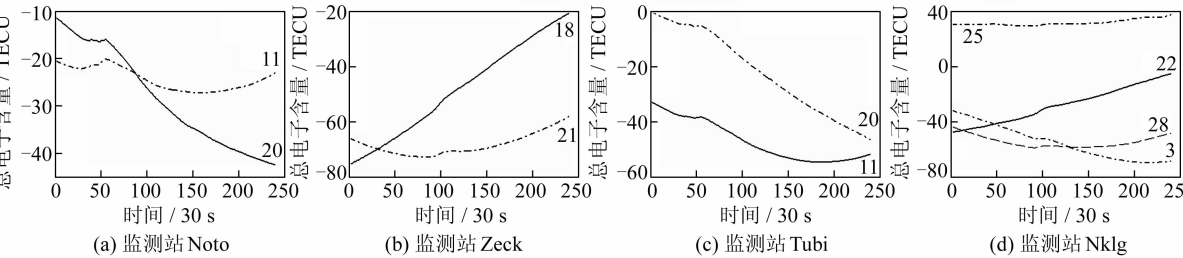


图 1 耀斑发生期间 TEC 时间变化曲线  
Fig. 1 Time Line of TEC in Solar Flare

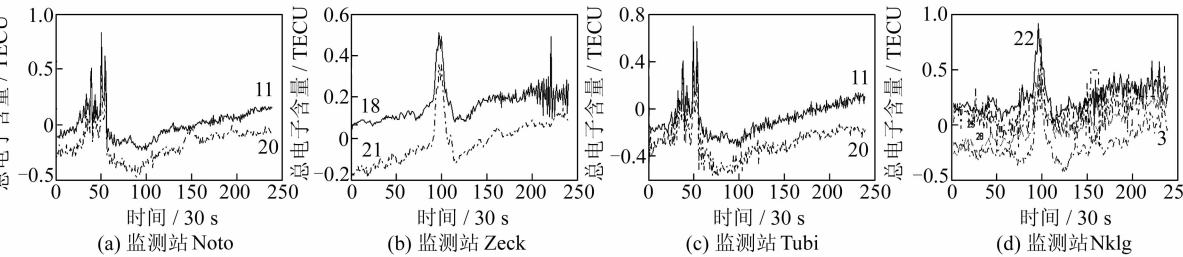


图 2 耀斑发生期间差分 TEC 时间变化曲线  
Fig. 2 Time Line of Different TEC in Solar Flare

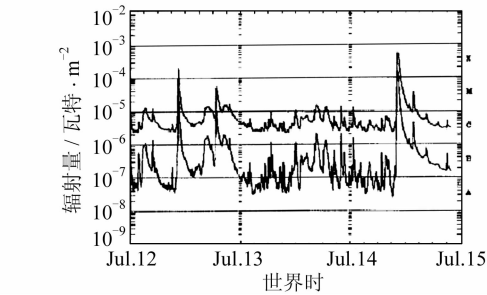


图 3 2000 年 7 月 12~14 日 X 射线辐射通量图  
Fig. 3 X Ray Flux in 2000 Jul. 12-14

方案 1 利用 2001 年 4 月 12 日至 18 日一周的 GPS 观测数据对所选的 60 个 GPS 跟踪站每日 13:00~15:00 UT 各卫星的相对 TEC 进行计算,并比较其变化情况。限于篇幅,图 4 仅列出了 Harb 站的结果。

从图 4 可以看出,在太阳耀斑爆发前后一周的时间内,除 2001 年 4 月 15 日耀斑爆发期间总电子含量出现突增现象外,其他时间的 TEC 曲线变化平稳,找不出任何预报的征兆和规律。

方案 2 采用与方案 1 相同的数据,但方案 2

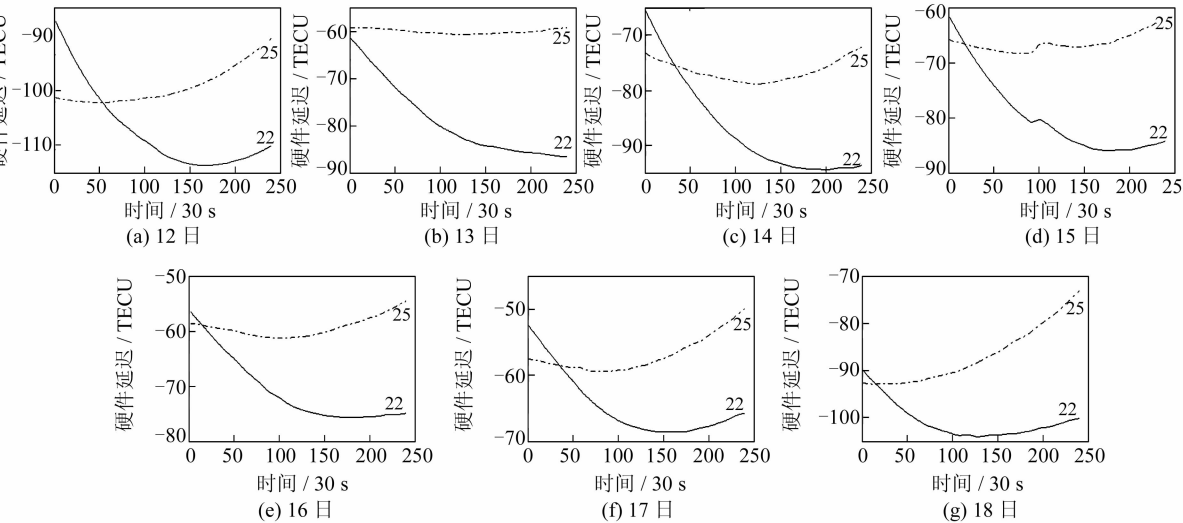


图 4 Harb 站每日的相对 TEC 时间变化曲线  
Fig. 4 Time Line of Opposite TEC on Harb Station in a Day

是计算绝对 TEC 的数值,在此列出了 Harb、Amol、Nico 三个站的结果,见图 5、图 6、图 7。

根据电离层理论,相邻日的总电子含量应该基本相当。由图 5、图 6、图 7 可以看出,在耀斑爆发后的 16~18 日,相邻日对应时刻的总电子含量基本一致,而耀斑爆发前 12~15 日相邻日对应时刻的总电子含量差异很大,几乎所有站星对应时刻的总电子含量均发生了不同程度的跳跃。为更加清楚地反映这种跳跃情况,现将拟合后相邻日的总电子含量情况列于表 1。

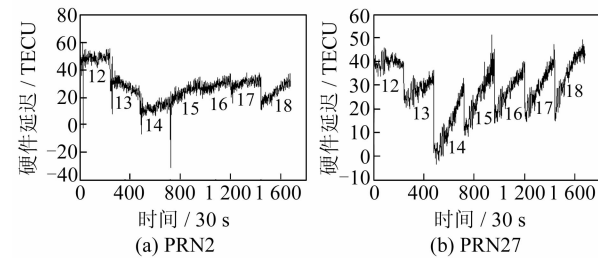


图 6 Amol 站一周的绝对 TEC 时间变化曲线  
Fig. 6 Time Line of Absolute TEC on Amol Station in a Week

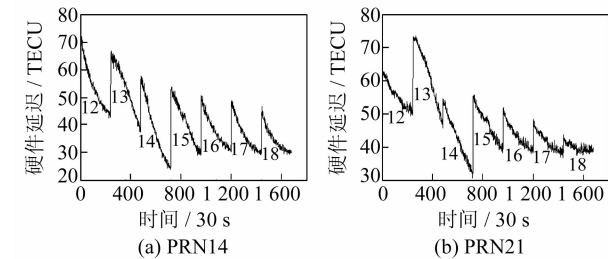


图 7 Nico 站一周的绝对 TEC 时间变化曲线  
Fig. 7 Time Line of Absolute TEC on Nico Station in a Week

表 1 总电子含量一周的变化情况表								
Tab. 1 Contrast the Change of TEC in a Week								
测站	卫星	12	13	14	15	16	17	18
Amol	2	48.3	28.1	12.9	23.8	28.8	30.5	23.9
	7	51.4	35.0	14.0	26.6	29.9	29.9	29.0
	8	45.2	26.6	10.2	22.7	26.6	27.9	30.1
	27	39.6	28.2	13.1	25.3	27.7	29.6	35.3
Harb	22	49.3	68.3	58.0	57.5	57.4	55.5	55.1
	25	40.2	60.4	48.8	48.8	49.0	47.3	47.3
Nico	3	56.8	64.4	46.7	49.0	46.7	45.8	44.3
	14	53.6	53.3	37.0	40.7	38.0	36.3	34.7
	21	55.3	61.8	42.3	46.6	43.3	41.5	39.8
	29	59.0	58.3	43.9	46.1	43.3	41.6	40.1

从表 1 可以看出,跳跃主要发生在 13 日相邻的两天内,最大跳跃达 20 多个 TECU;而耀斑爆发后的 16~18 日,相邻日的总电子含量变化平稳,一般情况下超过 3 个 TECU,与电离层理论相一致。

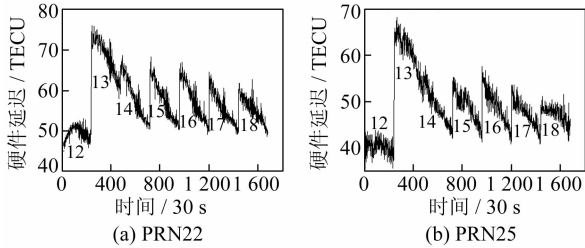
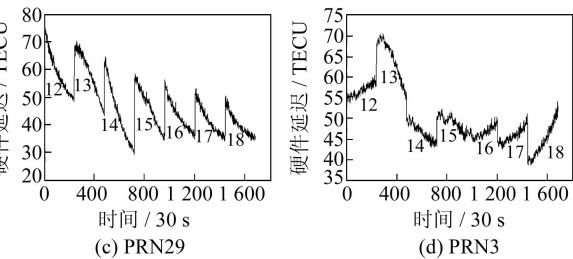
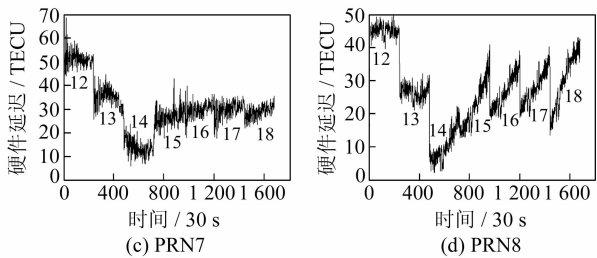


图 5 Harb 站一周的绝对 TEC 时间变化曲线  
Fig. 5 Time Line of Absolute TEC on Harb Station in a Week



根据以往的观测资料显示,在 2001 年 4 月 13 日前后,并无其他电离层扰动现象发生,所以相邻日总电子含量的这种大幅度异常跳跃应当是受 2001 年 4 月 15 日太阳耀斑的影响所致,据此有望实现对太阳耀斑的预测和预报。

### 3 结 语

1) 通过与 X 射线辐射通量图相比较,证明了 GPS 测量 TEC 的可行性与正确性。大量观测资料显示,GPS 是目前 TEC 测量精度最高的手段。

2) 利用 GPS 对 TEC 进行监测具有高精度、高数据采样率、高覆盖率以及费用低、易维护等特点,因此比传统的监测方法更加具有优越性。

3) 通过各种监测方法的比较可知,差分 TEC 更加适合于对总电子含量及太阳耀斑的细微研究,一般情况下,其精度可达 0.01 TECU。

4) 根据本次实验,太阳耀斑发生前期,相邻日对应时刻的总电子含量出现大幅度跳跃现象,通过大量实验验证后,有望实现对太阳耀斑的预报。

参 考 文 献

[1] 刘旭春,王艳秋,张正禄. 利用 GPS 技术遥感哈尔滨地区大气可降水量的分析[J]. 测绘通报,2006(4):10-12

[2] 刘旭春,张正禄,杨军. GPS 遥感大气综合水汽含量局部区域模型与通用模型结果的比较分析[J]. 测绘科学,2006(6):65-69

[3] David S, Clayton C. Variability of GPS Satellite Differential Group Delay Biases[J]. IEEE Trans on AES,1991,27(6):931-938

[4] Sardon E, Zarraoa N. Estimation of Total Electron Content Using GPS Data: How Stable are the Differential Satellite and Receiver Instrumental Biases

[J]. Radio Sciecee,1999, 32(5):1 899-1 910

[5] Rochen C, Van Hove T, Johnson J, et al. GPS/STORM-GPS Sensing of Atmospheric Water Vapor for Meteorology[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Techno logy, 1994, 12: 468-478

[6] Warnant R. Reliability of the TEC Computed Using GPS Measurements-the Problem of Hardware Biases[J]. Acta Geod Geoph Hung,1997,32(3):451-459

[7] 王小亚,朱文耀. GPS 监测电离层活动的方法和最新进展[J]. 天文学进展,2003,2(1):33-39

[8] 蔡昌盛,李征航,赵晓峰. 太阳耀斑的 GPS 监测方法及实例分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2003(8):422-424

第一作者简介:刘旭春,副教授,博士。现主要从事测绘教学、GPS 数据处理及 GPS 应用研究。  
E-mail:liuxuchun@bicea. edu. cn

Method Monitoring and Predicting to Solar Flare Using GPS

LIU Xuchun<sup>1,2</sup> YI Wu<sup>1</sup> LI Weigong<sup>3</sup> YANG Jun<sup>4</sup>

- (1 Key Laboratory of Geological Hazards in TGR Area Ministry of Education, Three Gorges University ,1 Daxue Road, Yichang 443002, China)
- (2 Surveying and Mapping Engineering Department, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture 1 Zhanlanguan Road, Beijing 100044,China)
- (3 AVIC Institute of Geotechnical Engineering, 56 Zhichun Road, Beijing 100098, China)
- (4 CATIC SIWEI Aviation Remote Sensing Co. Ltd. ,17 Sanlihe Road, Beijing 100037, China)

**Abstract:** In order to studying the means of monitoring and predicting to solar flare, the observation data of more than 60 global GPS tracking-station from IGS is downloaded, TEC that coming from two solar flare of X level is calculated and analyzed . The results show that the sudden increasing phenomenon of TEC is monitored in solar flare,which all GPS tracking-stations locate the high latitude area and the low latitude area ,and it is consistent with the figure of X ray flux; difference TEC can gain more exact change of total electron content, so it adapts to the detailed study of solar flare; the phenomenon of TEC great range jumping is discovered in studying absolute TEC range between closer-day,so the experimental view-point and conclusion are obtained.

**Key words:** GPS; TEC; solar flare; monitor; predict

About the first author: LIU Xuchun, associate professor, Ph.D, majors in GPS data processing and GPS application.  
E-mail: liuxuchun@bicea. edu. cn