

文章编号:1671-8860(2008)05-0484-04

文献标志码:A

# 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一致性;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惟一手段<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,均具有很好的一致性,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。

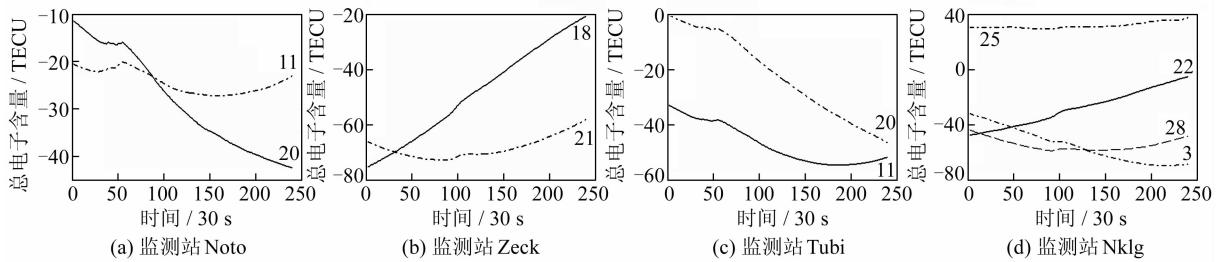


图1 耀斑发生期间 TEC 时间变化曲线

Fig. 1 Time Line of TEC in Solar Flare

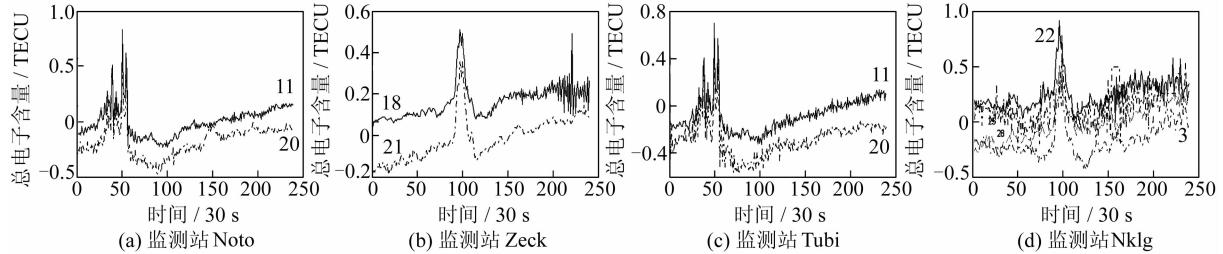


图2 耀斑发生期间差分 TEC 时间变化曲线

Fig. 2 Time Line of Different TEC in Solar Flare

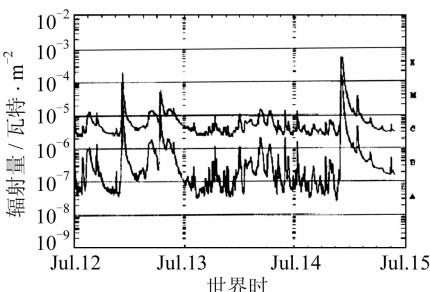


图3 2000年7月12~14日X射线辐射通量图

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

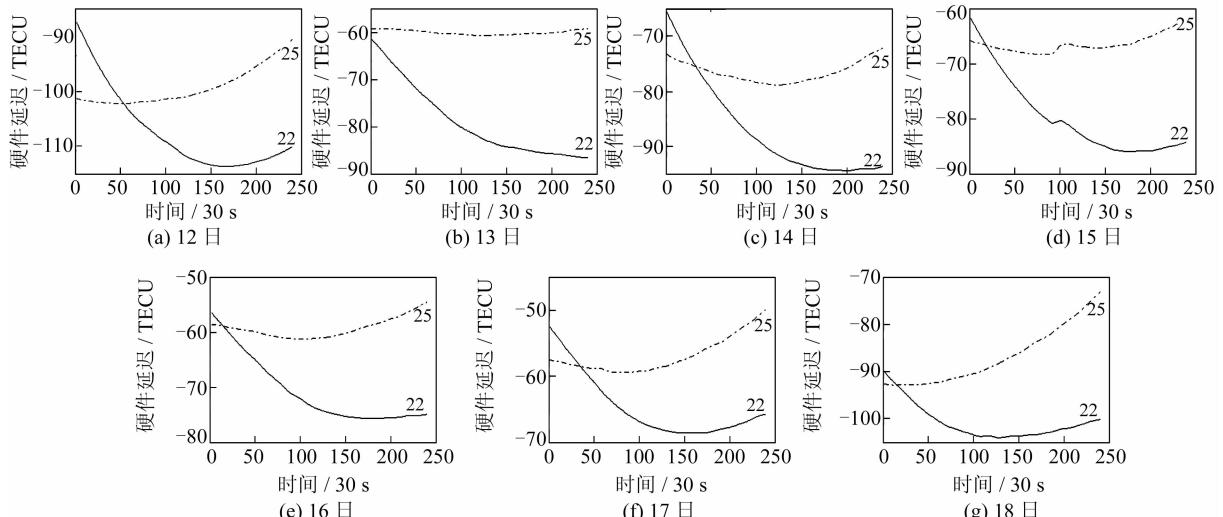


图4 Harb站每日的相对 TEC 时间变化曲线

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。

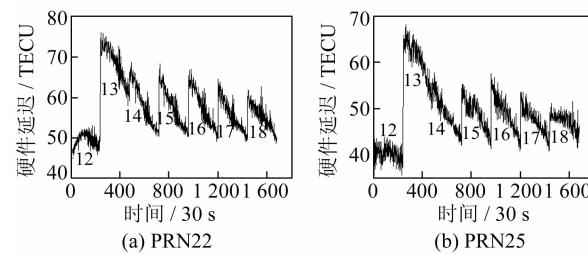


图 5 Harb 站一周的绝对 TEC 时间变化曲线

Fig. 5 Time Line of Absolute TEC on Harb Station in a Week

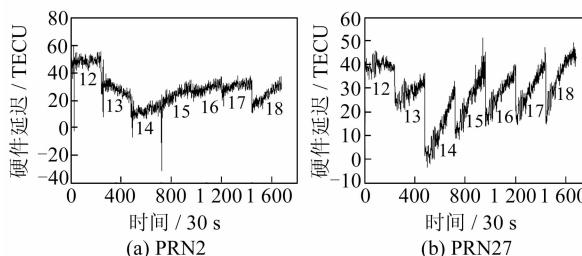


图 6 Amol 站一周的绝对 TEC 时间变化曲线

Fig. 6 Time Line of Absolute TEC on Amol Station in a Week

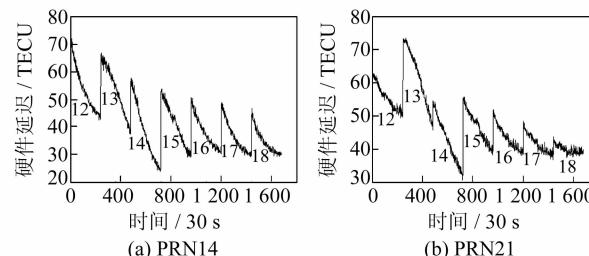
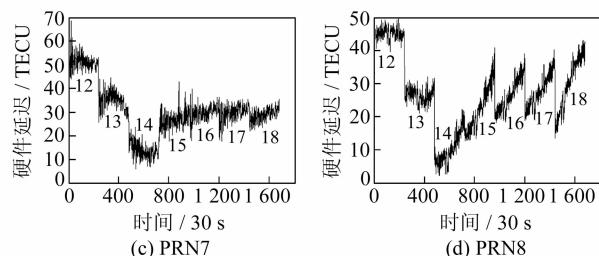


图 7 Nico 站一周的绝对 TEC 时间变化曲线

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
	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
Nico	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。

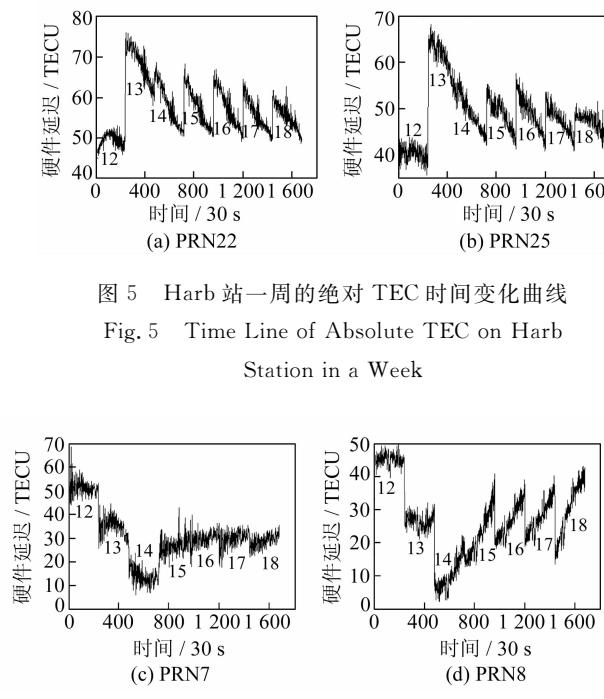


图 7 Nico 站一周的绝对 TEC 时间变化曲线

Fig. 7 Time Line of Absolute TEC on Nico Station in a Week

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 的可行性和正确性。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
- [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 Technology, 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 viewpoint 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