

引用格式: 戴顺, 罗近涛, 刘海文, 等. 2020年6月21日日环食低频时码信号监测[J]. 时间频率学报, 2021, 44(3): 215-221.

# 2020年6月21日日环食低频时码信号监测

戴顺<sup>1,2</sup>, 罗近涛<sup>2</sup>, 刘海文<sup>3</sup>, 李实锋<sup>2</sup>, 李祎丰<sup>2</sup>,

李浩<sup>2</sup>, 刘长虹<sup>2</sup>, 刘伟<sup>2</sup>, 刘永朋<sup>2</sup>

(1. 华东交通大学, 南昌 330013;

2. 中国科学院 国家授时中心, 西安 710600;

3. 西安交通大学, 西安 710049)

**摘要:** 2020年6月21日日环食前后, 在西安临潼及商洛洛南搭建观测系统, 对商丘BPC发播台68.5 kHz信号进行了观测。将采集数据可视化处理, 对比分析多日信号波动情况, 结果表明日食期间低频时码信号幅度发生波动, 并在食甚后达到极值。根据电离层变化分析信号特点, 从日出-日落效应层面阐述波动原因, 证实低频时码信号传播受日食影响, 为研究日食期间低频时码信号变化特点提供参照。

**关键词:** 日环食; 低频时码; 电离层

DOI: 10.13875/j.issn.1674-0637.2021-03-0215-07

## Observations of low frequency time-code signal during the annular eclipse of June 21, 2020

DAI Shun<sup>1,2</sup>, LUO Jin-tao<sup>2</sup>, LIU Hai-wen<sup>3</sup>, LI Shi-feng<sup>2</sup>, LI Yi-feng<sup>2</sup>,

LI Hao<sup>2</sup>, LIU Chang-Hong<sup>2</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, LIU Yong-peng<sup>2</sup>

(1. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;

3. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Around the annular eclipse on June 21, 2020, observing systems were installed in Lintong District of Xi'an City and Luonan County of Shangluo City to monitor the 68.5 kHz signal from the Shangqiu BPC station. The recorded data was processed and visualized. Analyses of the signal's fluctuations were carried out, and the results showed that the amplitude of the low frequency time-code signal fluctuated during the solar eclipse and reached an extreme value after the maximum of the eclipse. Analyses of the signal were implemented based on the change of the ionosphere. The signal's fluctuations can be caused by the sunrise-sunset effects, and it is suggested that the propagation of the low frequency time-code signal is affected by the solar

eclipse. This work provides a reference for studying the low frequency time-code signal during solar eclipses.

**Key words:** annular eclipse; low frequency time-code; ionospheric

## 0 引言

随着现代通信、导航、航天等领域的发展,高精度授时技术的重要性日益凸显。低频时码授时是在长波授时基础上发展起来的一种授时方法,是国际电信联盟 (ITU) 建议和鼓励采用的授时方式<sup>[1]</sup>。该方法采用时间编码方式,通过无线电发射装置,将高精度原子钟产生和保持的时间信息以无线电波为载体进行发播,因其覆盖范围广、传播损耗小、接收简单,得到广泛应用<sup>[2]</sup>。

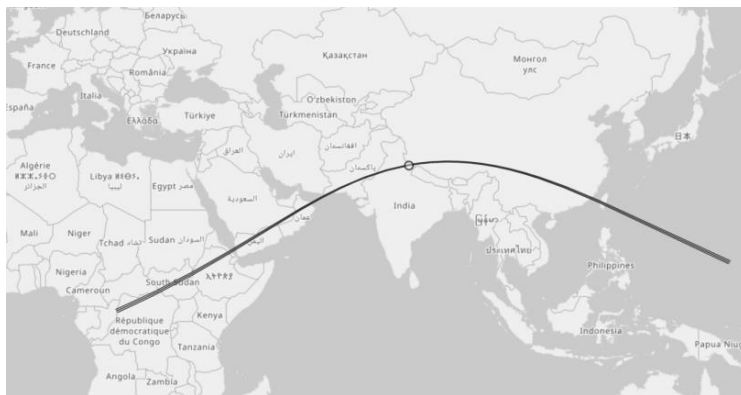
低频时码的传播主要有地波和天波两种方式。地波沿地球表面以绕射的方式到达接收点,天波经电离层反射传播至接收点<sup>[3]</sup>。电离层在垂直方向呈现出分层结构,一般分为 D 层、E 层和 F 层,其中, F 层又分为 F1 层和 F2 层。夜间 D 层、E 层和 F1 层基本消失,只剩下 F2 层仍可用于无线电传播<sup>[4]</sup>。这种电离层的昼夜的变化,使低频时码信号在夜间强于白昼<sup>[5]</sup>,呈现出“昼弱夜强”的特点。太阳活动会影响电离层,进而对低频时码信号传播产生影响。

中国科学院国家授时中心于 2007 年在河南省商丘市虞城县新建设了一座 68.5 kHz 低频时码发播台,呼号为 BPC<sup>[6]</sup>。其发射功率为 100 kW,信号覆盖半径约为 2 000 km<sup>[7]</sup>,日发播时长 21 h<sup>[8]</sup>,北京时间早上 5 点至 8 点停机检修维护。

2020 年 6 月 21 日发生了一次日环食<sup>[9]</sup>,我国大部分地区可见偏食。日食发生时,月亮处在太阳和地球中间,遮挡住了部分射向地球的太阳光,在日食区会出现短暂的昼夜更替现象。

## 1 2020 年 6 月 21 日日环食及观测

2020 年 6 月 21 日日环食中心食区横跨非洲、亚洲、太平洋,如图 1 (a) 所示<sup>①</sup>,图中圆圈标记处为本次日环食最大食分地。在我国大陆,环食带由西藏中部进入,从福建南部离开,主要覆盖贵州东北部、湖南中部、江西南部等地,其他地区可见不同程度的偏食,如图 1 (b) 所示。我国部分城市的日食时刻信息如表 1 所示<sup>[10]</sup>。



(a) 环食带整体情况

① <http://www.heavens-above.com/SolarEclipseInteractive.aspx?jdmax=2459021.77865012>



(b) 我国大陆内环食带

图 1 日环食路径

表 1 日环食时刻及食甚时食分

地点	初亏	食甚	复圆	食甚时食分
拉萨	13:26	15:12	16:50	0.95
昆明	14:02	15:45	17:12	0.86
贵阳	14:13	15:52	17:15	0.94
西安	14:16	15:47	17:06	0.81
长沙	14:28	16:00	17:17	0.95
南昌	14:35	16:03	17:18	0.90
福州	14:44	16:10	17:23	0.94

注：本文出现时间皆为北京时间（UTC+8h）。

本次监测分别在西安临潼及商洛洛南设置观测点，对商丘 BPC 台站发播的 68.5 kHz 低频时码信号进行监测，监测系统如图 2 所示。

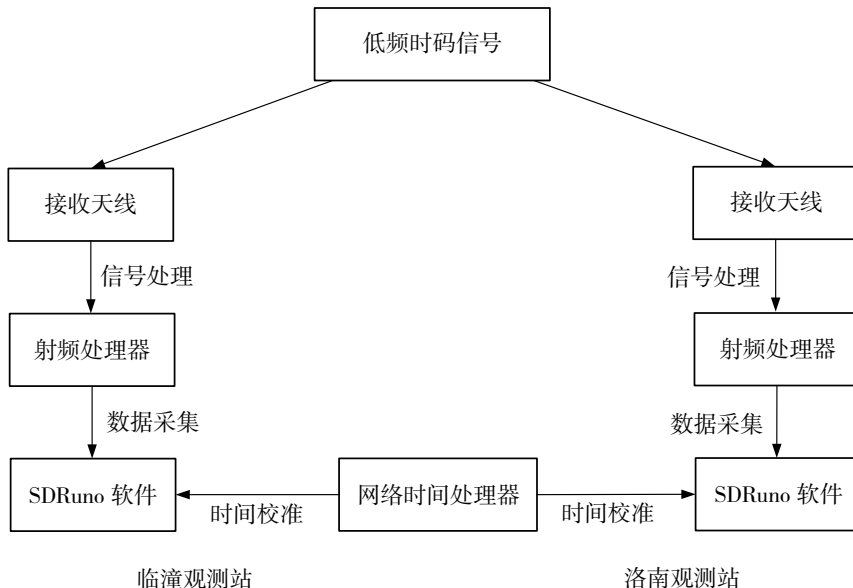


图 2 观测系统

高增益环形天线接收到的低频信号,通过馈线传输至射频处理器件,进行下变频滤波等处理,处理所得的信号通过 SDRuno 频谱存储软件进行采集存储,本文所用数据采集频次为 1 s 一次。数据采集系统通过网络时间服务器进行时间同步,保障两地观测时间的一致性。

## 2 数据处理

临潼观测点于 6 月 8 日至 7 月 5 日期间对 68.5 kHz 信号进行监测,洛南观测点从 6 月 12 日至 6 月 21 日期间对 68.5 kHz 信号进行监测,在 7 月 6 日至 7 月 19 日期间进行后续监测。对获得数据的处理过程如图 3 所示。

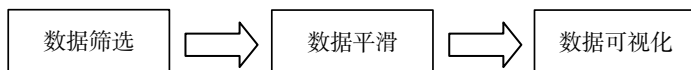


图 3 采集数据后处理过程

采集数据的整体有效性受外部不稳定因素影响,如远程连接观测设备导致采集中断等。以保证数据可靠性为前提,在对现有数据进行进一步处理前,应先筛出有效数据。有效数据应符合以下几个条件:

- ① 连续每秒记录数据,数据丢失量不超过整体数据的 3%;
- ② 连续时间内,相同数据值不超过 5 条;
- ③ 在以天为单位的连续数据中,无数据中断现象。

在采集数据时,系统采集响应占用一定量的时间,造成约 42 s 采集 41 s 数据的情况;且低频时码信号会受到干扰和噪声的影响,出现信号突变现象。对数据进行平滑处理可提高信息量,减少误差。数据平滑可采用多种方法,常用的方法包括自适应平滑、简易平滑、移动平均平滑<sup>[11]</sup>等。其中,移动平均平滑在修匀数据点的同时,能够较为准确地反映出变化趋势。本次数据平滑处理采用移动平均平滑法,平滑参数根据经验值选为 300。

采集数据具有昼夜强度差异,为对比 1 d 中不同时段的信号强弱,将数据点以二维图的形式进行可视化处理;采集数据在不同日期同一时刻的强度具有相似性,为对比不同日期同一时间段的信号强度,根据日期将数据分成 00:00—24:00 的子数据,并用自主编写的 python 程序将多个子数据集集成到同一个二维图中,以不同线条形式进行区分,以便事后分析。

根据观测站的坐标位置及自主编写的 python 程序,计算得出观测站日环食时刻信息如表 2 所示,获得时刻值与日食计算器<sup>②</sup>相近。将采集的数据进行处理,信号变化曲线如图 4 和图 5 所示。图中实线为日环食当天数据曲线,标志初亏、复圆时刻为当地日环食的变化时刻。

表 2 观测点日环食时刻表

地点	初亏	食甚	复圆
临潼	14:17:23	15:47:53	17:06:27
洛南	14:19:11	15:49:12	17:07:15

② <http://interesting-sky.china-vo.org/astronomical-database/rishijisuanqi.html>

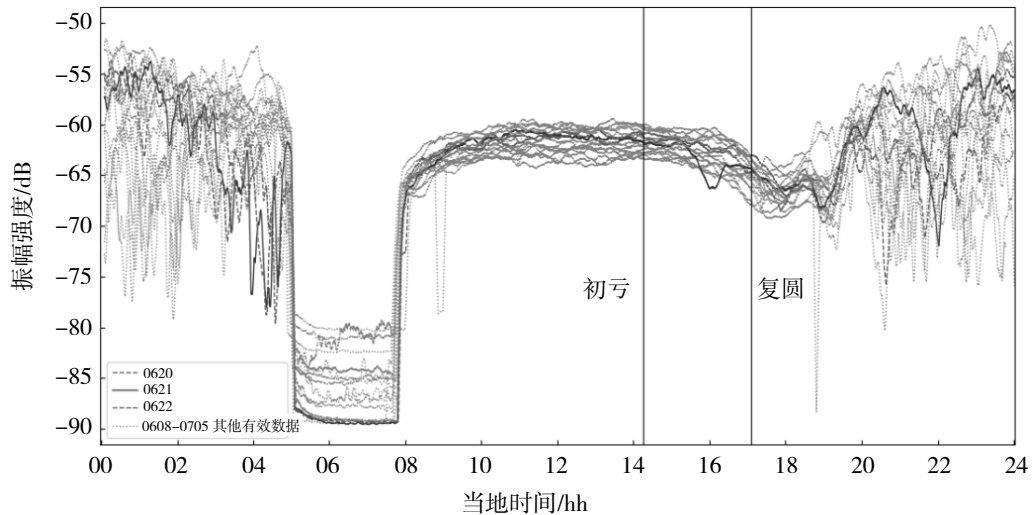


图4 临潼观测 68.5 kHz 信号变化

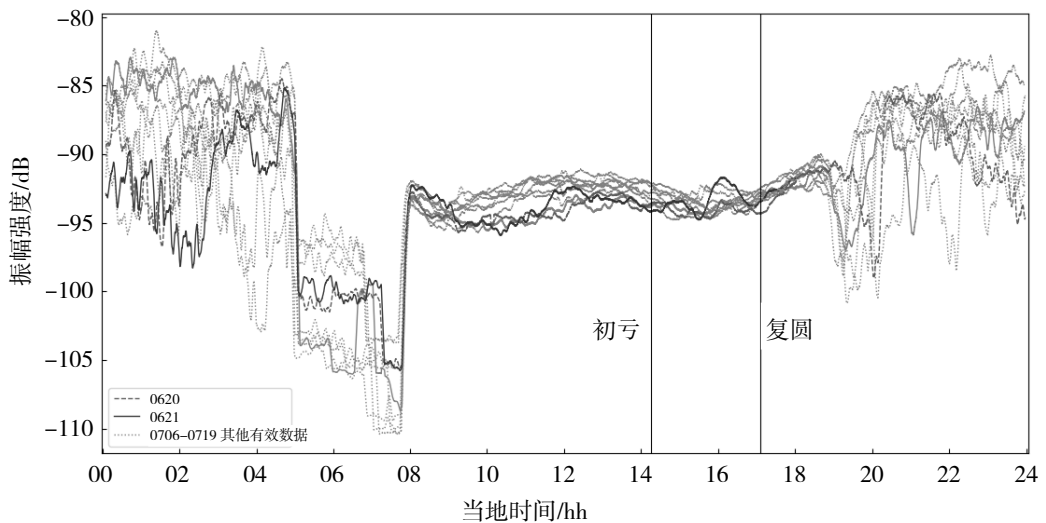


图5 洛南观测 68.5 kHz 信号变化

### 3 观测结果分析

通过 24 h 内信号的变化曲线可以看出，白天时段（08:00—18:00）信号波动幅度较为平稳，夜间时段（20:00—24:00，00:00—5:00）及昼夜过渡段（18:00—20:00）信号波动幅度较大。这是因为信号经电离层反射，白天时段内电离层相对稳定，夜间时段及昼夜过渡时段内的电离层处于变化状态。其中，05:00—08:00 为 BPC 发播台停机检修时间。两地监测 68.5 kHz 信号皆呈现“昼弱夜强”的整体趋势，符合低频时码传播随电离层不同发生的昼夜变化，且在日环食期间信号发生异常时刻相近、时长相似。

#### 3.1 临潼观测站

在临潼观测日环食发生时段内，68.5 kHz 信号存在剧烈变化，该观测站日食前后约一个月的其他有效数据中，同一时段内信号平稳无异常，如图 4 及图 6 所示。临潼观测点接收的 68.5 kHz 信号在日食期间的异常，表现为在 15:18 附近变弱，在 16:23 附近恢复；在 15:59 和 16:05 附近达到极值，极值时刻稍晚于当地食甚时刻。在日环食过程中，太阳辐射各分量均有明显的变化<sup>[12]</sup>，其有效辐射主要由地面低频时码辐射和大气逆辐射所决定，且日食过程中入射到地面的太阳辐射量有一个作用过程。因此低频时码

辐射在日食过程中的减弱较小，幅度的最大变化量与食甚时的食分值基本上成正相关，且最大减弱时刻并非食甚时刻，而是稍有滞后<sup>[12-14]</sup>。

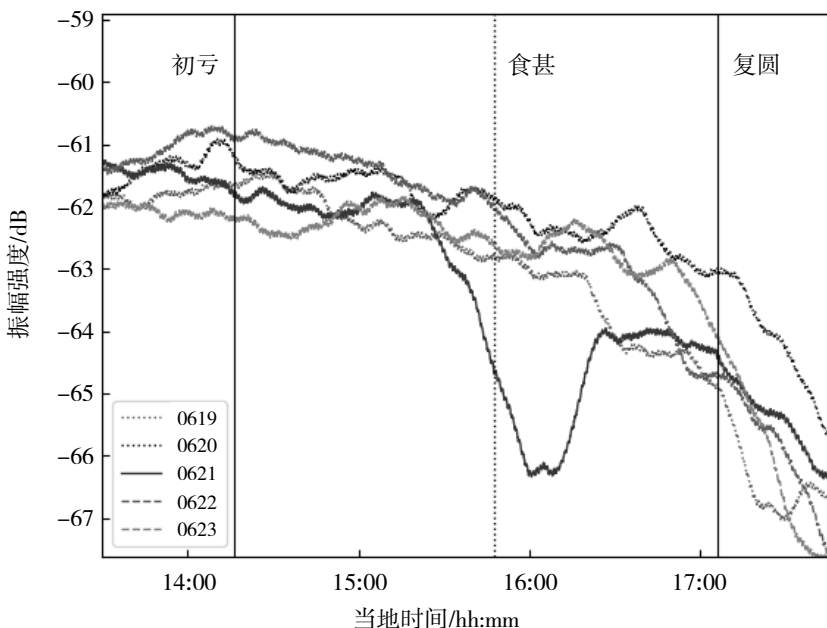


图 6 临潼观测日环食期间 68.5 kHz 信号变化

### 3.2 洛南观测站

在洛南观测日环食发生时段内，68.5 kHz 信号同样存在剧烈变化，该观测站日食后约两周的部分其他有效数据中，同一时段内信号有极微弱的变化趋势，但幅度均远不及日食当天，如图 5 及图 7 所示。洛南观测点接收的 68.5 kHz 信号在日食期间的异常，表现为在 15:32 附近变强，在 16:41 附近恢复；在 16:08 附近达到极值，极值时刻稍晚于当地食甚时刻。洛南观测站地处秦岭山脉中，海拔约为 1 km。在不吸收电磁能量的真空中，电波的传输损耗只与频率和距离有关，但实际上电波传播的实际环境总是涉及到复杂的传输媒介，传输媒介的不均匀、多径效应、地貌特征等都会对信号产生影响。

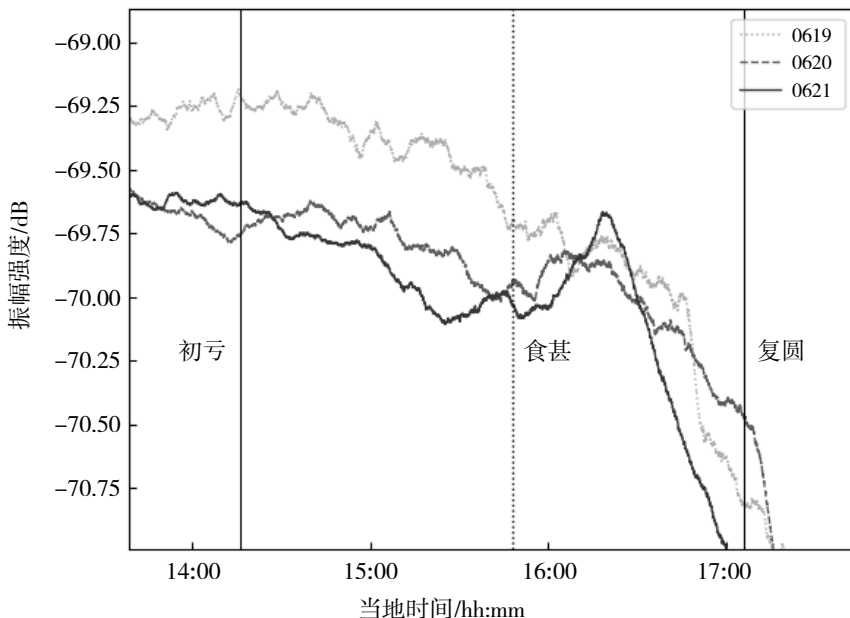


图 7 洛南观测日环食期间 68.5 kHz 信号变化

## 4 结语

2020年6月21日日环食前后,在西安临潼和商洛洛南两地对商丘BPC发播台68.5 kHz信号进行观测。对观测数据分析表明,日食这一天象对低频时码有明显的影响,作用机制为影响电离层进而影响低频时码信号传输。电离层随经纬度的不同呈现出复杂的空间变化,并且伴随昼夜、季节、太阳黑子活动等现象发生不同的变化。因此,要进一步了解低频时码在空间的传播特征及太阳活动对低频时码授时的影响,需要开展长期监测及研究。

### 参考文献:

- [1] 李国栋. 基于FPGA的低频时码数字接收机设计与实现[D]. 西安: 中国科学院研究生院(国家授时中心), 2007.
- [2] 顾卓璟. 低频时码接收系统的研究设计[D]. 南京: 南京大学, 2012.
- [3] 靳建新. 长波天波授时可行性分析[J]. 全球定位系统, 2012, 37(3): 5-8+15.
- [4] 翟厚涛. VF/ELF电磁波在电离层中的传播机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [5] 姜涛. 地—电离层波导中甚低频波昼夜过渡期特性研究[J]. 通信电源技术, 2014, 31(4): 43-45.
- [6] 刘小花, 许林生, 华宇. 基于FPGA的便携式BPC定时接收机设计[J]. 时间频率学报, 2012, 35(2): 88-95.
- [7] 白燕, 吴贵臣, 许林生. 低频时码接收机高精度定时的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2006, 20(3): 102-105.
- [8] 李文浩. 低频授时设备优化及管理研究—基于商丘低频台[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- [9] 梁志峰, 秦放, 崔方. “6·21”日环食对光伏发电及电网运行影响分析[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(7): 1-7.
- [10] 何玉囡, 王桂芬. 2020—2049年日食的见食情况[J]. 紫金山天文台台刊, 1993, 12(2): 123-139.
- [11] 胡昌林, 王蕾. 一种基础模糊理论的自适应数据平滑方法[J]. 现代雷达, 2016, 38(7): 49-51+86.
- [12] 季国良. 1987年日环食的气象效应研究取得成果[J]. 中国科学基金, 1995(4): 55-56.
- [13] “1987年9月23日日环食期间太阳辐射和大气重力波的分析研究”课题组. 太阳辐射和地面气象要素的日环食效应[J]. 地球物理学报, 1990(4): 399-407.
- [14] 潘炼德, 苗永瑞. 日环食对低频及甚低频电波传播的影响[J]. 电波科学学报, 1990, 5(1): 38-43.