引文格式：李卫军,黄昭军,葛继空. 武汉 IGS 站 WUHN 点位变化特征分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(1): 114-116. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.01.027

武汉 IGS 站 WUHN 点位变化特征分析

李卫军[1]，黄昭军[1]，葛继空[1]
（1. 诚邦测绘信息科技（浙江）有限公司，浙江 宁波 315000）

摘　要：针对不同地区 IGS 观测站时间序列周期性、运动特征存在差异的问题，基于 GAMIT/GLOBK 10.7 软件获取了 2010—2020 年武汉（WUHN）站的 ITRF 2014 坐标时间序列；并利用功率谱分析方法对 WUHN 站时间序列周期项进行分离和提取。实验结果表明，WUHN 站坐标时间序列在 U 方向上存在年周期性和半年周期性；在 N、E 方向上具有线性变化特征，平均运动速度分别为 −12 mm/a 和 33 mm/a；武汉地区呈向东南方向运动的趋势，通过极大似然值分析，证实了 WUHN 站坐标时间序列噪声最佳模型为白噪声+随机游走噪声+闪烁噪声组合模型。

关键词：武汉地区；基准站；功率谱；周期性；噪声模型；武汉 IGS 站
中图分类号：P228.4　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）01-0114-03

WUHN Point Change Characteristic Analysis of Wuhan IGS Station

LI Weijun[1], HUANG Zhaojun[1], GE Jikong[1]
(1. Chengbang Surveying and Mapping Information Technology (Zhejiang) Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: In view of the periodicity of time series and the difference of moving characteristics of IGS observation stations in different regions, we obtained the coordinate time series of Wuhan (WUHN) station in ITRF 2014 from 2010 to 2020 based on GAMIT/GLOBK 10.7 software. Then, we used the power spectrum analysis method to separate and extract the periodic term of time series of WUHN station. The experimental results show that the coordinate time series of WUHN station has annual periodicity and semiannual periodicity in the U direction, and the N and E directions have the characteristic of linear change. The average moving speeds in the N and E directions are −12 mm/a and 33 mm/a respectively. Wuhan region shows a trend of moving to the southeast. Through the analysis of maximum likelihood value, it is confirmed that the best model of coordinate time series noise of WUHN station is white noise+rand walk noise+flicker noise combined model.

Key words: Wuhan area, reference station, power spectrum, periodicity, noise model, Wuhan IGS station

全球导航卫星系统（GNSS）坐标时间序列为研究大地测量学和地球动力学提供了宝贵的基础数据[1-2]。通过分析 GNSS 基准站坐标时间序列，可确定测站所处位置地壳运动的变化特征，还可对地球物理效应等因素引起的季节性变化进行阐释[3]。目前，国内外学者对 GNSS 坐标时间序列进行了一系列研究，徐琦[4]等研究了我国高纬高寒地区连续运行参考站系统（CORS）3 年时间序列，结果表明基准站周年项振幅会随温度的降低而增加，振幅波动与温度变化具有较好的一致性，说明了高寒地区特有的冻胀物理现象对基准站周年项运动的影响；李蕾[5]等利用极大似然分析法分析了南极地区 IGS 中心基准站时间序列，结果表明南极地区基准站坐标在 N、E 和 U 方向均存在较明显的周期项，且 U 方向上还存在半年周期项，通过计算测站运动速率发现，南极洲正在缓慢向南美洲移动；邱亚辉[6]等分析了环渤海地区 GNSS 坐标时间序列，结果表明环渤海地区 GNSS 测站在 U 方向上存在周期震荡的特性，最大振幅为 2 mm，环渤海地区地壳呈向西北方向运动的趋势；张锡越[7]等研究了北京地区 CORS 坐标时间序列，结果表明部分基准站存在沉降较严重的现象，各测站在 N、E 和 U 方向的最大运动速度分别为 14.3 mm/a、32.5 mm/a、8.5 mm/a；梁艳[8]解算了 2011—2017 年新疆地区 CORS 站坐标时间序列，结果表明新疆相对于欧亚板块的形变特征为自西北向东北方向运动，水平运动趋势由西南向东北逐渐减弱，东西和南北运动速度呈现不均匀现象；王力斌[9]等基于两种不同算法有效提取了 WHCORS 时间序列功模误差，并证明了相关系数叠加算法的效果优于空间叠加滤波算法；王志勇[10]等提出了一种新型 CORS 高程时间序列分析方法，可准确反映 CORS 高程

收稿日期：2022-08-28。
项目来源：河南省高校科学研究资助项目（2021-ZZJH-035）。
第一作者简介：李卫军（1975—），硕士，高级工程师，主要从事测绘相关工作，E-mail：liweijunc@163.com。

时间序列自身的变化趋势。本文通过解算武汉地区IGS站（WUHN）10年的观测数据，获得高精度坐标时间序列，并通过功率谱分析研究了时间序列在水平、垂直分量的特征，旨在为武汉地区大地测量坐标框架稳定性分析和地区地壳运动研究提供科学的数据参考。

1　功率谱分析

功率谱分析是通过傅里叶变换将时域内信号转换到频域内进行研究分析的方法，主要用于分析离散数据的周期特性。功率谱可反映信号功率与频率间的对应关系，强度在频率上的对应关系，是目前时间序列常用的分析方法之一。若一组离散数据具有周期性，则其周期运动对应的功率在全部功率中占比较大，在功率谱图中对应功率的峰值，从而在时域内不易反映的特性，可在频域内很容易观察出来[11-12]。IGS站坐标时间序列的功率谱可表示为[13-14]：

$$P(f)=P_0\left(f^{-\alpha}+f_0^{-\alpha}\right)$$

式中，f 为频率；$P(f)$ 为功率谱密度；P_0 为系数；f_0 为白噪声分量和有色噪声的交叉频率；α 为谱指数。

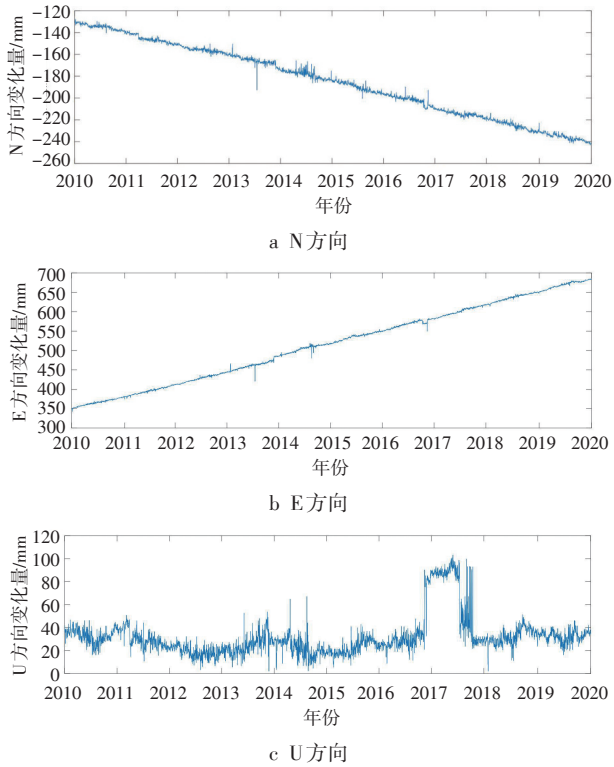
2　数据来源与处理策略

本文解算了WUHN站2010—2020年的观测数据，并引入了BJFS站、CHAN站和SHAO站数据进行联合解算。本文利用GAMIT对2010—2020年观测数据进行基线解算，获取松弛解H文件；利用GLOBK在ITRF2014框架下进行网平差处理，从平差结果中提取WUHN站时间序列数据。GAMIT/GLOBK解算策略：参考框架为ITRF2014，基线处理模式采用松弛解类型，观测数据采样间隔为30 s，卫星轨道和卫星钟差均为IGS事后精密星历和精密钟差，卫星截止高度角设置为10°，天线相位中心采用ESA模型，电离层和对流层延迟分别采用消电离层组合和Saastamoinen模型+GMF函数进行改正，海潮影响采用FES2004模型进行改正，相位缠绕、固体潮汐、地球自转和相对论效应的影响均采用ERS Conventions 2010模型进行改正，N、E方向坐标约束设置为0.05 m，U方向坐标约束设置为0.1 m。

3　案例分析

3.1　周期性分析

通过GAMIT/GLOBK软件处理得到WUHN站在N、E和U方向上的时间序列（图1），可以看出，WUHN站在N、E方向上整体呈现线性变化，且存在向东南运动的趋势，N、E方向的平均运动速度分别为−12 mm/a和33 mm/a；在U方向上存在周期性变化特征，离散程度较大，其原因可能是高程方向精度低于水平方向。利用傅里叶变换获取WUHN站的功率谱密度，再通过分析功率谱图（图2）直观展示WUHN站在U方向上的周期特性，WUHN站功率谱密度在1.0 a时达到最大值，在0.5 a时达到第二峰值，因此WUHN站在U方向具有明显的年周期项以及



a N方向　　b E方向　　c U方向

图1　时间序列图

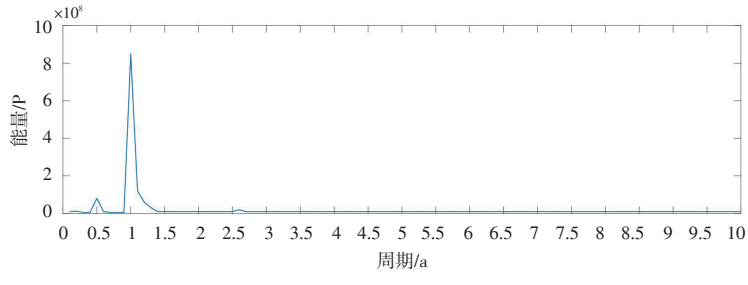


图2　功率谱图

较小的半年周期项，年周期为365.25 d，半年周期为182.26 d。

3.2 噪声分析

坐标时间序列中主要包括白噪声（WN）和有色噪声，有色噪声又包含随机游走噪声（RWN）和闪烁噪声（FN）[7]。为确定WUHN站时间序列噪声的组成类别，本文求取不同组合噪声模型（模型1：WN+RWN、模型2：WN+FN、模型3：WN+RWN+FN）的极大似然值，再将3种模型的极大似然值分别与单独WN模型的极大似然值作差，从而进一步确认有色噪声存在的可能性，结果见图3，可以看出，3种组合模型与单独WN模型极大似然值的差值均大于0，表明WUHN站坐标时间序列中存在有色噪声；WN+RWN组合模型和WN+RWN+FN组合模型的极大似然值差值大于WN+FN组合模型，表明WUHN站坐标时间序列噪声最优组合模型为WN+RWN组合模型或WN+RWN+FN组合模型。由孟卡特罗实验可知，若两种噪声组合模型的极大似然值差值大于阈值，则认为两种模型可显著区分[7]，而WN+RWN组合模型和WN+RWN+FN组合模型的极大似然值差值小于阈值，则认为两种模型不可显著区分，进一步证实了WUHN站坐标时间序列中存在闪烁噪声。因此，WUHN站坐标时间序列噪声最佳模型为WN+RWN+FN组合模型，该结果与参考文献[14]的结论相吻合。

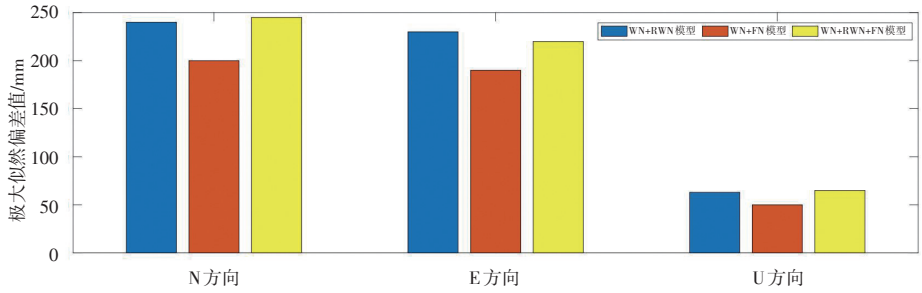


图3 不同模型的极大似然值差值

4 结 语

本文利用GAMIT/GLOBK软件获取了WUHN站10年的时间序列数据，并通过分析时间序列发现，WUHN站在N、E方向上整体呈线性变化，在U方向上存在周期性变化特征；WUHN站呈现向东南运动的趋势，N、E方向的平均运动速度分别为−12 mm/a和33 mm/a。通过分析极大似然值确定了最佳噪声组合模型，研究结果对武汉地区大地坐标框架稳定性分析和地壳运动研究具有参考意义。

参考文献

[1] 尹彤,鲁欣宇,聂建亮,等. 区域GNSS基准网解算及其时间序列分析[J]. 导航定位学报,2022,10(3):110-115

[2] 冉佳诺,边家文,刘文平. 基于Bi-LSTM神经网络的GNSS坐标时间序列重构[J]. 工程地球物理学报,2022,19(3):393-401

[3] 姜卫平,王锴华,李昭,等. GNSS坐标时间序列分析理论与方法及展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(12):2 112-2 123

[4] 徐琦,祝会忠,关沧海,等. 我国高纬高寒地区省级CORS站时间序列分析[J]. 测绘科学,2022,47(3):50-57

[5] 李蕾,葛悉佑,王静涛. 南极IGS基准站时间序列极大似然法分析[J]. 测绘科学,2016,41(7):173-180

[6] 邱亚辉,薄志毅,郎博,等. 环渤海地区GPS台站时间序列分析[J]. 测绘通报,2018(6):17-21

[7] 张锡越,朱照荣,曾艳艳,等. 北京市CORS站坐标时间序列噪声分析[J]. 测绘科学,2021,46(3):48-54

[8] 梁艳. 新疆CORS站时间序列及速度场分析[J]. 测绘地理信息,2021,46(增刊1):148-151

[9] 王力斌,潘鹏飞,薛蛟. 武汉市CORS坐标时间序列中共模误差分析[J]. 地理空间信息,2022,20(6):96-98

[10] 王志勇,王崇倡,刘宇晨,等. 一种CORS站高程序列非线性趋势项分析方法[J]. 测绘科学,2022,47(4):44-51

[11] 刘宇. 基于环境负荷的山东区域CORS站时间序列分析[D]. 青岛:山东科技大学,2020

[12] 武曙光. 区域CORS站坐标时间序列特征分析[D]. 武汉:武汉大学,2017

[13] 陈晨. CORS站坐标时间序列数据噪声分析与周期性研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2019

[14] 陈晨,魏冠军,高志钰,等. 香港CORS站坐标时间序列分析研究[J]. 全球定位系统,2019,44(2):89-97