

GPS-RTK技术在输电铁塔高空摇摆在线监测中的应用

随着国民经济的蓬勃发展, 各行各业对电力的需求量越来越大。输电铁塔是电力输送的支柱, 其结构强度、力学性能等会直接影响到整个电力系统的安全和经济运行。因此, 确保其在各种载荷作用下的安全可靠运行, 具有重要的经济和社会意义。将GPS技术引入到输电铁塔高空摇摆在线监测领域中, 通过对试验输电铁塔加装GPS模块监测其摇摆情况并应用RTK方法分析其振动特性, 结果表明GPS-RTK技术可实现输电铁塔摇摆位置准确定位和其摇摆幅度的准确测量, 从而实现输电铁塔姿态监测的功能, 其在输电铁塔高空摇摆在线监测应用中具有良好的技术优势。

王 丽 董 明 任 明/西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室
党 朋/上海电缆研究所 栗 俊/上海艾飞能源科技有限公司

0 引言

随着国民经济的蓬勃发展, 各行各业对电能需求量越来越大, 能源短缺已逐渐成为我国经济发展的瓶颈^[1]。在国家电网公司“西电东送、南北互联、全国联网”方针的指导下, 高压输电线路成为电力工业发展的必然选择^[2-3]。电力系统间的联网, 系统的安全性、可靠性以及稳定性的提高, 均得益于高压输电线路的快速发展和广泛使用^[4]。目前我国除西北地区外已经初步奠定了以500 kV高压输电线路为主的电力网络格局^[5-6]。

随着高压输电网络的规模化发展, 高压输电塔一线体系逐渐呈现出导线截面积粗、跨距长以及杆塔高耸等特点, 结构工程界形象地称之为“大跨越输电塔一线体系”^[7-9]。该体系由导地线和钢塔连接而成, 是一种复杂的空间塔一线耦联振动体系, 其主要承重结构是高压输电铁塔。通常情况下, 除跨越大的河

流、山谷外, 每公里高压输电线路约有2~3座输电铁塔, 其投资占线路总投资的40%左右, 输电铁塔数量之多和投资之大显而易见^[10]。输电铁塔是电力输送的支柱, 其结构强度、力学性能等会直接影响到整个电力系统的安全和经济运行。因此, 确保其在各种载荷作用下的安全可靠运行, 具有重要的经济和社会意义。

影响输电铁塔安全运行的因素众多, 恶劣的自然灾害天气、人为因素和外力破坏等均可导致输电铁塔变形、倾斜或基座下沉。确保输电铁塔的安全运行正受到工程实践和科研人员的高度重视。

大跨越输电塔一线体系是一种复杂的空间塔一线耦联振动体系, 其力学分析非常复杂。为了确保高压输电线路和输电铁塔安全稳定运行, 并及时发现安全隐患, 本文在介绍GPS-RTK技术基本原理的基础上, 应用该技术对南京三江口500 kV长江大跨越输电铁塔的姿态进行监测, 并对监测结果进行处理及分析。结果表明, 利用GPS-RTK技术能够实现输电铁塔姿态的准确在线测量。

1 GPS-RTK技术基本原理

实时动态定位 (Real-Time Kinematic, RTK) 技术是全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 测量技术发展史上的一个新突破, 也是目前使用最为广泛的快速高精度定位技术。RTK系统主要由基准站和流动站组成。以取点位准确度较高的首级控制点作为基准点, 以一台接收机作为参考站, 对卫星



王 丽/硕士研究生

关键词/Keywords

GPS-RTK ·
输电铁塔 ·
摇摆 ·
在线监测 ·

进行实时连续观测。流动站上的接收机接收卫星信号,同时也通过无线电传输设备接收基准站的观测数据,利用参考站和流动站之间观测误差的空间相关性,对这两组信号数据进行差分处理,就能够在较大的程度上消除共性的延迟和误差,实时准确地计算出流动站的三维坐标,实现高精度(分米甚至厘米级)的定位^[11-13]。基准站系统组成如图1所示,流动站系统组成如图2所示。

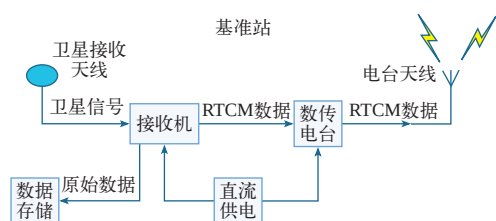


图1 基准站系统组成

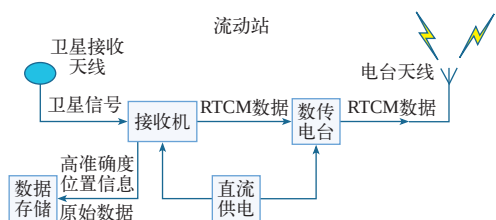


图2 流动站系统组成

高精度差分定位系统是在GPS定位技术基础之上,采用高精度差分测量设备、数据处理软件和配套的专用设备,通过实时差分 and 事后差分处理相结合的方式建立的高精度广域测量系统。

通常所采用的高精度差分定位系统实时差分方式每隔1 s记录一次数据,事后差分方式每隔0.1 s记录一次数据。数据包括所监测点的经度、纬度、海拔和数据类型等信息。

通过经纬度的改变求水平方向振幅的计算式为

$$A_1 = R \cos \{ [1 - [\sin(90^\circ - \varphi_0) \cos \gamma_0 - \sin(90^\circ - \varphi) \cos \gamma]^2 + [\sin(90^\circ - \varphi_0) \sin \gamma_0 - \sin(90^\circ - \varphi) \sin \gamma]^2 + [\cos(90^\circ - \varphi_0) - \cos(90^\circ - \varphi)]^2 / 2 \} \quad (1)$$

式中, A_1 为水平方向振幅, m; R 为地球平均半径, $R = 6\,378\,140$ m; φ_0 为基准纬度($^\circ$); γ_0 为基准经度($^\circ$); φ 为所测点纬度($^\circ$); γ 为所测点经度($^\circ$)。

垂直方向振幅计算式为

$$A_2 = H - H_0 \quad (2)$$

式中, A_2 为垂直方向振幅, m; H 为所测点海拔, m; H_0 为基准海拔, m。

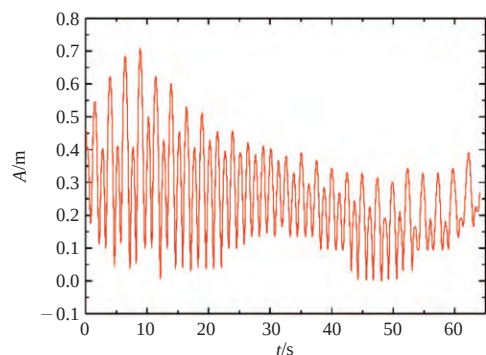
振幅计算式为

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \quad (3)$$

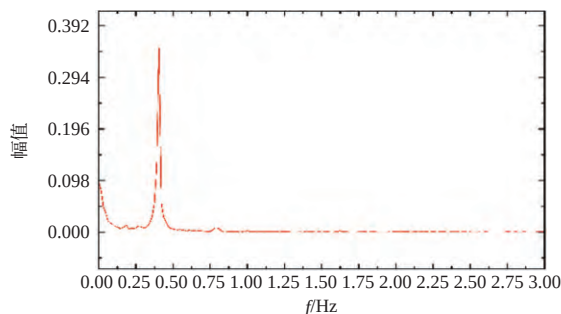
式中, A 为振幅, m。

2 试验系统准确度测试

在开阔地带对试验系统进行测试,测试时将流动站设备和卫星接收天线固定在一根导线上,基准站卫星接收天线固定于距离被测导线约100 m的地方。在流动站卫星接收天线下方垂直导线方向放置标尺,人为激励导线使其舞动,控制导线舞动的振幅在0~0.6 m之间,频率在0.4 Hz左右。图3为试验系统所记录数据处理后所得的结果。



(a) 导线舞动振幅



(b) 导线舞动频谱

图3 导线舞动测试结果

由测试结果可看出,导线舞动的振幅为0~0.7 m,且主要集中在0.6 m以下;导线舞动频率集中在0.4 Hz左右,这与实际数据基本吻合。由此可见,在一定的误差允许范围内,试验系统的测量准确度能够用于输电铁塔高空摇摆幅度的测量。

3 现场试验与试验数据

3.1 试验过程

本试验是以高精度差分定位系统为基础,通过实时差分 and 事后差分两种方式得出流动站卫星接收天线的准确坐标,通过比较不同时刻位置坐标值来实时监测大跨越输电铁塔的摇摆情况。图4为试验现场模拟图,图5为试验现场图。试验时将GPS流动站设备和卫星接收天线固定在被测输电铁塔上,需确保流动站卫星接收天线不被塔身遮挡,以免影响信号接收。基准站设备和卫星接收天线固定于塔底地面,流动站与基准站之间通过电台进行通信,需尽量确保流动站和基准站之间在相互可视范围内。流动站通过数据记录仪记录数据,基准站所记录数据通过串口输出到PC端。风速气象仪安装位置和流动站卫星接收天线安装位置大致相同,确保能准确测量流动站卫星接收天线处的气象信息数据。

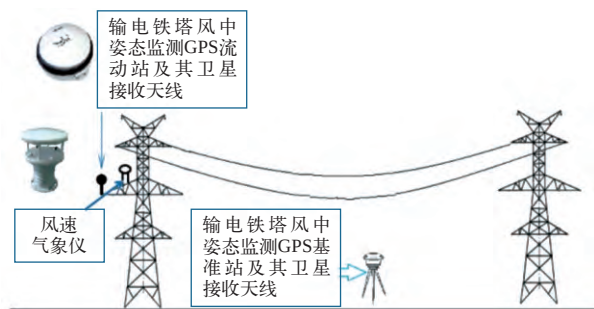


图4 试验现场模拟图



图5 试验现场图

本试验以南京三江口500 kV长江大跨越输电铁塔为试验对象,利用试验系统监测其摇摆情况。南京三江口500 kV长江大跨越输电铁塔由钢管相互连接组成空间桁架结构,全高249.5 m,呼

高(最下一层横担到地面的垂直距离)215 m,根开49.6 m^[14]。试验时将流动站设备及其卫星接收天线固定在第一横担处,将基准站设备及其卫星接收天线固定在江边的空地上,试验持续30 min,同时持续测量流动站卫星接收天线处的气象信息。

3.2 数据实测结果

截取通信质量较好时段的一部分数据进行处理。处理经纬度和海拔数据后所得输电铁塔在215 m高处的振幅曲线如图6所示。

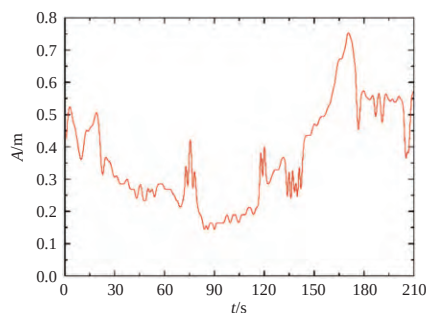


图6 输电铁塔振幅曲线

由图6可看出,此时间段内输电铁塔高空摇摆幅度为0.15~0.75 m,且主要集中在0.6 m以下,这种变形是比较轻微的。此时间段内最大风速约7 m/s。

4 输电铁塔振动频率分析

对所采集的数据进行快速傅里叶变换(Fast Fourier Transformation, FFT)分析,所得输电铁塔振动频谱如图7所示。

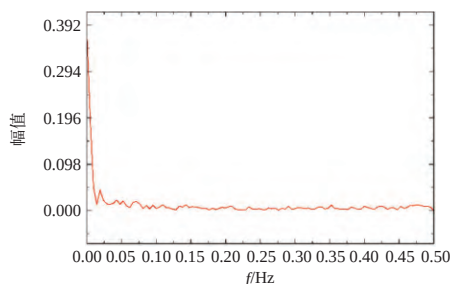


图7 输电铁塔振动频谱

由图7可以看出,输电铁塔是以很低的频率在无明显规律振动,这主要与其所受的风载荷有关。

5 讨论

输电铁塔除了受静载荷作用外,多数时间还

受动载荷作用,振动是引起输电铁塔破坏的主要原因。在本次试验时间段内,输电铁塔在215 m处的振幅不超过0.75 m,整座塔的摇摆幅度很小,对其安全运行不会造成威胁。但当发生意外情况时,输电铁塔的摇摆幅度变大,可能会威胁到电力系统的安全运行。因此,对输电铁塔摇摆幅度进行在线监测有着实际意义。

由定位数据质量标志位分析显示,通信质量较好时,试验数据处理后显示的测量准确度也较高,水平定位准确度可以达到厘米级,海拔定位准确度能够达到约20 cm。因此,利用GPS-RTK技术监测输电铁塔的摇摆情况时,应尽可能保证通信质量良好,必要时可采用一些防干扰措施来保证所测量数据的准确度。

通过对试验数据进行FFT分析,可得输电铁塔在通常情况下是以很低的频率在不规律地振动。试验系统数据采集频率在1~20 Hz可设置范围内。因此,试验系统数据采集频率完全能够满足输电铁塔高空摇摆的数据频率采集要求。

6 结束语

结合试验数据分析,并经过资料调研、理论分析和实践试验证明,可得到如下结论:

1) 利用GPS-RTK技术监测输电铁塔高空摇摆时,若通信质量良好,水平定位准确度可以达到厘米级,海拔定位准确度能够达到约20 cm。

2) 试验系统频率采集范围满足输电铁塔高空摇摆的数据频率采集要求。

3) 在一定的误差允许范围内,试验系统的测量准确度能够用于输电铁塔高空摇摆幅度的测量,从而实现输电铁塔姿态监测的功能。

参考文献

[1] 曹枚根. 钢管组合大跨越输电塔线体系抗震减震

分析研究[D]. 广州: 广州大学, 2006.

[2] 周新华. 高压输电铁塔结构强度分析[D]. 保定: 华北电力大学, 2003.

[3] 梁波, 徐建良. 架空输电铁塔动力风响应的数值模拟[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2002(5): 583-587.

[4] 曾宪凡. 高压架空线路设计基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.

[5] 中国电力年鉴编辑委员会. 中国电力年鉴: 2002[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

[6] 尹荣华, 李东亮, 刘戈林, 等. 高压输电塔震害及抗震研究[J]. 世界地震工程, 2005(1): 51-54.

[7] 梁德飞. 输电线路大跨越钢管塔的结构可靠度分析[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2009(增刊1): 249-252.

[8] 张新培. 建筑结构可靠度分析与设计[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[9] 李刚, 程耿东. 灾害荷载下结构体系失效模式的相关性及可靠度计算[J]. 工程力学, 2001, 18(3): 1-9.

[10] 郭绍宗. 我国输电线路铁塔的发展与展望[J]. 特种结构, 1990, 7(3): 8-11.

[11] 徐延鹏, 李东海. GPS-RTK在输电线路测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2009, 32(2): 118-119.

[12] 乐世铭. GPS-RTK在测量中的应用研究[J]. 中国城市经济, 2012(2): 224.

[13] 许强. GPS-RTK原理及其在架空送电线路测量中的应用[J]. 科技与企业, 2013(8): 360.

[14] 顾海荣, 吴德勇. 500 kV南京三江口长江大跨越工程试桩数据分析[J]. 电力建设, 2007(4): 18-21, 29.

(收稿日期: 2015-08-28) EA

~~~~~

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告