

应用 GPS 技术的大型建筑物动态监测研究

柴永杰

(深圳市勘察测绘院有限公司 广东 深圳 518028)

摘要:基于笔者多年从事变形及动态检测的相关工作经验,以 GPS 技术在大型建筑物动态监测中的应用为研究对象,分析探讨了 GPS 动态监测的原理和方法,借助实例评价了 GPS 在大型结构动态监测中的应用状况,最后,笔者简要阐述了监测数据的管理与可视化方法,全文是笔者长期工作实践基础上的理论升华,相信对从事相关工作的同行有着重要的参考价值 and 借鉴意义。

关键词:大型建筑物;动态监测;GPS;原理;方法

中图分类号:P228.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-5867(2011)04-0119-03

Large Scale Building Dynamic Monitoring using GPS Technique

CHAI Yong-jie

(Shenzhen Geotechnical Investigation & Surveying Institute Co., Ltd., Shenzhen 518028, China)

Abstract: Based on years of working experience on dynamic deformation monitoring taking the application of GPS technique in large scale building dynamic monitoring as research object, this paper discussed the principle and method of GPS dynamic monitoring. It evaluated the application status of GPS in large scale structure dynamic monitoring by experiments. Finally, it expatiated on the method for managing and visualizing the monitoring data. This paper is the theoretical sublimation from long term working practice which provides important reference value for professionals in related work.

Key words: large scale building; dynamic monitoring; GPS; principle; method

0 引言

大型结构建筑物动态监测工作是对其关键部位进行连续实时监测,为评估结构物的稳定性、耐久性和可靠性提供有价值的信息。在台风、温度变化、载荷变化以及地震等因素的影响下,许多大型结构建筑物诸如长桥、塔和高层建筑物等会产生震动和发生位移,甚至会有倒塌事故的发生。因此对大型结构建筑物进行动态监测,不但可以及时发现结构物的危害并采取相应的维护措施,避免灾难性的事故发生,而且对结构物的安全运营、损伤检测、突发事件(如强烈地震、强台风或其他严重事故)后的结构剩余寿命的评估以及检验结构物设计参数的正确性等等,都具有非常重要的意义。目前,对大型结构建筑物的动态监测已成为大型构筑物建设及运营阶段不可缺少的工作,并成为土木工程、结构工程等专业领域的一个非常活跃的研究方向。

本文主要介绍基于 GPS 技术的大型结构建筑物动态监测原理、方法和国内外的几个典型实例,提出了监测数据管理与可视化方案,并对未来大型结构建筑物动态监

测系统进行展望。

1 大型建筑物的动态监测方法分析

对大型结构建筑物进行动态监测,是测定结构物主要特征点在温度、风力、载荷和地震等外界因素影响下的位移变化特征,并对结构物进行损伤检测、稳定性与剩余寿命的评估等工作。测定构筑物位移或震动的方法,可以分为传统方法和 GPS 方法。

1.1 传统方法

过去,由于受技术条件的限制,为测定大型结构物的震动与位移,人们常常采用的方法主要包括位移传感器测试法、加速度计法、激光干涉仪法和全站仪测试法,等等。

1) 位移传感器测试法是一种接触式测量方法,测试设备的一端安装在被测物体上,另一端安装在被测物体外固定点上。这种方法难以实现对大型结构物的位移测量,常用于结构物模型测量。

2) 加速计法是一种常规测量结构物震动与位移的方法,它是将加速度传感器安装在结构物上,测定该结构物

收稿日期:2010-03-18

作者简介:柴永杰(1979-),男,甘肃天水人,工程师,大学本科,主要从事 Trimble VRS 技术推广与 CORS 网络建设工作。

在震动时的加速度,通过对加速度积分求位移。它的特点是重量轻、体积小,因此测量值受震动自身影响较小,但是它需要和测定点直接接触,同时需要采用专用配线连接加速计和中央记录单元。这种方法位移测量误差较大,配线容易损坏,当结构移动比较慢时,不能精确测定整个震动的振幅。另外,在某些情况下如近海工程、高层塔架等建筑物工程,加速计法安装十分困难。

3) 激光干涉仪法是一种测定监测点到基准点间距离变化量的方法。它需要将棱镜或反射胶片安置在监测点上,观测距离变化与时间的关系值,通过进一步的分析可以得到位移变化主频率和相应的振幅。这种方法具有精度高的优点,但是当结构物的摇晃或震动较大时很难跟踪目标。

4) 全站仪测试法使用自动跟踪(马达带动)全站仪,由全站仪发射的激光通过自动扫描,瞄准目标,采用激光测距、电子测角法,求出待测点的3维坐标。该方法的测量精度高,采样频率一般可达3 Hz。

对于多点测量要用扫描时分方法,所以同时同步对多点测量比较困难,另外激光受大气影响大,在恶劣天气测量困难。

这些方法尽管能达到一定的目的,但也存在一定的问题。例如,当所监测物体移动速度较慢时,加速计法难以有效获得物体整个震动的振幅;激光干涉仪法和全站仪测试法受气候条件的限制,只有具有良好的通视条件才能正常工作;这些方法对较小构筑物较好,对于高大构筑物,特别是在台风、大雨的情况下,跟踪目标困难。此外,它们还存在不能同步测定不同监测点位移,当位移量比较大时观测比较困难,很难实时得到观测值等缺陷。总而言之,这些传统的测量手段进行动态监测存在一定的局限,不能满足对大型结构建筑物进行连续、实时和自动动态监测的需要。

1.2 GPS 方法

在过去的十几年,全球定位系统(GPS)技术发展非常快速,定位精度明显提高,仪器设备重量轻、体积小,价格逐年降低,软件功能增强且用户操作界面友好。采用GPS技术对大型结构建筑物进行震动与位移观测具有许多优点:

1) GPS技术克服气候条件的限制,能在恶劣的天气或暴风雨天气条件下全天候进行工作。

2) GPS定位属卫星定位,当监测点的接收机能接收来自5颗卫星的信号和来自基准点的差分信号时,可进行实时动态GPS(GPS RTK)定位。监测点之间不需要通视,且得到的是不同监测点坐标的绝对值。

3) GPS技术能够直接测定结构物位移的3维坐标。从接收信号、跟踪卫星到完成实时动态差分位移测量等工作,仪器能自动进行。

4) 具有定位精度高、速度快的特性,采用差分GPS载波相位的方法可以达到厘米级甚至毫米级的定位精度,许多厂商生产的GPS接收机的采样频率可达10~20 Hz,

GPS数据处理方法在不断改进和完善。

GPS定位测量的这些优点为对大型结构建筑物进行实时或准实时、高精度的动态监测提供了很好的技术条件。

2 GPS 动态监测原理

由于结构物的震动和位移比较小,当GPS技术用于大型结构动态监测时,必须采用高精度的GPS定位方法。为获得厘米级甚至毫米级的精度,可以采用差分GPS载波相位的方法。由于刚性结构物体的震动范围比较小,所以采用GPS技术难以完成对刚性结构物的动态监测,GPS定位技术通常用于柔性结构物的动态位移监测,如长跨距的悬索桥、高层建筑或高塔等结构物。下面主要探讨位移监测原理。

GPS RTK即实时动态GPS技术,它是一种可以在野外实时获得测点最终3维坐标的GPS测量方法,在定位、导航、工程施工、大型结构建筑物变形的动态监测等方面有很大的潜力。GPS定位是通过同时接受3颗以上GPS卫星信号,测定卫星到接收机的距离进行定位。

为提高定位精度,可利用载波相位进行定位。载波相位进行定位是利用差分方式,即将一台接收机安装在一个已知坐标的固定点上,也称基准站,在待测点上(称监测站)安置GPS接收机。将基准站接收的GPS卫星信号,即测定的至各卫星的伪距、相位观测值、卫星星历、多普勒频移等,通过数据通信链,如无线广播、光纤电缆等,传到监测站,并和监测站接收的信号进行差分处理,即可得到高精度的定位结果。常用的差分模型是双差方程。利用基准站和监测站对同一卫星载波相位观测方程求差为单差方程,若利用不同卫星的单差方程在求差为站际双差方程见公式(1):

$$\begin{aligned} \Delta\Delta\varphi_{bs}^{12} = & \frac{f}{c} [\rho_b^2(t_i) - \rho_s^2(t_i) - \rho_b^1(t_i) + \rho_s^1(t_i)] + \\ & f[\Delta\tau_{trop_b}^2(t_i) - \Delta\tau_{trop_s}^2(t_i) - \Delta\tau_{trop_b}^1(t_i) + \Delta\tau_{trop_s}^1(t_i)] \\ & + f[\Delta\tau_{ion_b}^2(t_i) - \Delta\tau_{ion_s}^2(t_i) - \Delta\tau_{ion_b}^1(t_i) + \Delta\tau_{ion_s}^1(t_i)] \\ & + N_b^2(t_i) - N_s^2(t_i) - N_b^1(t_i) + N_s^1(t_i) \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $\Delta\Delta\varphi_{bs}^{12}$ 为站际、星际载波相位差分观测值; $\rho_b^2(t_i) - \rho_s^2(t_i) - \rho_b^1(t_i) + \rho_s^1(t_i)$ 为接收机到卫星的距离; b 为基准点; s 为监测点; $1, 2$ 表示不同的卫星号; $\Delta\tau_{trop_b}^2$ 为对流层延迟; $\Delta\tau_{ion_b}^2$ 为电离层延迟; N 为载波相位的整周模糊度。

从式(1)可以看出,卫星钟差、接收机钟差已经消除,若基准站和监测站相距不远,基准站、监测站卫星信号的电离层延迟和对流层延迟相关性好,公式(1)中,第2、3项可视为零,所以只要能整周模糊度求准,则利用同时观测5颗卫星以上选定的双差方程即可实现实时定位,定位精度可以达到1~2 cm。

3 案例研究

国内外有采用GPS进行大型结构物动态监测的许多

成功的案例,主要分为高层建筑、大型桥梁的实时动态位移监测。例如,加拿大的卡尔加里塔、英国亨伯大桥、日本明石的凯约大桥、香港青马控制区的三桥、新加坡的共和国大厦,以及中国的虎门大桥和深圳地王大厦等都成功地应用了 GPS 技术进行动态监测工作。

加拿大利用差分 GPS 载波相位的方法于 1993 年成功地对卡尔加里市的卡尔加里塔进行了动态变形监测。该塔大约 160 m 高,基准站安装在塔北面约 1 km 的低层公寓楼顶,在塔顶安装了两个监测点(一个备份)。数据采集工作于 1993 年 11 月 9 日早上进行,以 10 Hz 的采样频率进行了 15 min 的同步数据观测。对监测结果进行处理后,得到该塔在东西向和南北向的震动频率大约为 0.3 Hz,南北、东西方向的振幅分别为 ± 15 cm, ± 5 cm。

英国利用 GPS 技术对位于亨伯河口的亨伯大桥进行了动态监测工作。该桥长 2 220 m,由两个高为 155.5 m 的塔将桥分为三跨段,主跨经 1 410 m。监测点位于桥的中部和桥搭上,基准点位于距桥 1.5 km 远的地方,并精确测定其 3 维坐标。所采用的接收机为 AshtechZ - II 型双频 GPS 接收机,通信系统采用 Racal Delta II 型超高频遥感链接,软件为 Ashtech s PNAV 实时处理软件。监测的目的是监测大桥中央位置在桥的各轴线方向的位移以及桥塔在东南、西北和垂直方向上的位移。

日本明石的凯约大桥也安装了先进的监测系统。它是一座主跨径为 1 991 m 总长为 3 910 m 的悬索桥。GPS 用于测定桥中跨的中点、一个塔的塔顶点和桥梁一端锚地点的 3 维坐标,其中锚地点的坐标用做参照,对监测点 3 维坐标进行换算以计算在桥梁轴线方向上的位移。同时测定相应点处的温度和风力风向,以获取位移值和温度的对应关系、风速与位移值的关系。GPS 接收机为 Leica MC 1000 型,在地震和强台风时的数据采集频率为 20 Hz。

中国大陆也有一些采用 GPS 技术用于结构动态监测的成功例子,如虎门大桥的实时动态监测,测定地王大厦在台风作用下的位移和震动频率。虎门大桥主跨径 1 538.5 m。为了实时监测桥梁在台风、交通负荷及温度条件下桥梁的工作状态,在桥跨的中部、1/4、1/8 处和塔的横梁上安装了 7 台 GPS 接收机。采样频率为 5 Hz,并于 2000 年 5 月开始进行大桥的安全监测。实践表明,采用 GPS 技术获得的监测位移值可用于桥的安全分析。帝王大厦高 324.95 m,监测点位于大厦顶部,基准点设置于西南方向 500 m 远的低层建筑的屋顶。在台风来临时应用 GPS 技术进行了动态位移和震动频率分析,结果表明定位精度可达 ± 5 mm,震动频率在 0.1 ~ 10 Hz 之间。

4 监测数据管理方法

在长期进行结构动态监测的系统中,由于从监测系统中采集的监测数据是海量的,以致很难采用传统的文件形式管理监测数据,必须采用一定的措施。此外,对来自监测系统数据处理与分析子系统的统计数据、处理和分析结果也应该进行有效地管理。数据库技术是管理海

量数据的有利工具。最为有效的办法是对监测数据建立动态数据库,并能进行监测数据的定期更新、备份和恢复。为实现监测数据的共享,应该采用基于网络环境的数据库管理系统,如 SQL Server, Oracle 数据库系统。在一个监测系统比较大、监测点的数目比较多的情况下,往往一天的监测数据量都很大。这时,可以采用对一天、一个星期或一个月的监测数据建立一个数据库的方法进行建库。这种建库方法给数据库的建立、备份、恢复或访问带来较大的方便。例如我们在开发某桥梁监测信息管理系统时,就采用了这种建立数据库的方法。

可视化是将各种数据以图形或图像形式显示在屏幕上,是人们直观研究和分析海量数据的强有力手段。在构筑物的实时监测系统中,监测数据的可视化可以非常清楚地反映出结构的动态变化情况。因此,对监测数据信息的可视化,是大型构筑物健康动态监测系统必不可少的功能之一。通常对不同的监测结果采用不同的可视化方法。例如,温度的日变化曲线、监测点在 3 维方向上的位移曲线、在特定方向(如轴向)上位移变化图、温度与位移的关系图、温度与载荷的关系图,等等。此外,就长的悬索桥而言,桥梁甲板在垂直方向上的实时位移对分析桥梁变化与荷载的关系是十分有效的。

5 结束语

GPS 技术可以克服传统的结构监测方法的缺点,它可以克服气候条件的限制而进行全天候观测。目前许多 GPS 接收机采用差分 GPS 载波相位测量可以达到厘米级甚至毫米级的精度,并具有 10 Hz 甚至 20 Hz 的采样频率。GPS 定位测量可以实时地得到监测点的 3 维坐标,特别是可实现多点同步观测,受外界影响小,数据采集方便,可实现实时性、自动化管理。所有这些优点为大型构筑物进行实时动态监测提供了良好的技术支持。国内外的实例表明, GPS 技术在大型构筑物动态监测中具有广阔的应用前景。随着 GPS 技术、计算机技术和网络技术的发展,未来大型构筑物动态监测系统将是一个集 GPS 技术、数据库技术、可视化技术和网络技术为一体的综合性技术系统。

参考文献:

- [1] 朱照荣. 城市 GPS 应用及发展趋势探讨[J]. 北京测绘, 2002(3): 27 - 29.
- [2] 周忠谟. 关于高精度 GPS 测量的个别问题[J]. 测绘工程, 1994(4): 1 - 8.
- [3] 孙鸿敏, 李宏男. 土木工程结构健康监测研究进展[J]. 防灾减灾工程学报, 2003(3): 92 - 98.
- [4] 岳建平, 席广永. 基于小波变换的 GPS 周跳探测[J]. 测绘工程, 2003(4): 33 - 35.
- [5] 栾元重. 地表移动 GPS 实时监测技术[J]. 测绘工程, 2000(3): 33 - 34.

[编辑:宋丽茹]