

GPS 振动环境试验装置的研制

徐庆华¹ 周传荣¹ 罗志才²

(1. 南京航空航天大学振动工程研究所, 江苏 南京 210016; 2. 香港理工大学, 香港)

摘要: 为了精确有效地使用 GPS 测量大型建筑、桥梁等结构的振动频率和位移, 必须知道 GPS 的动态定位精度, 因而需有一个相对精度较高的校准装置. 本文介绍一种自行研制的 GPS 振动环境试验装置, 该装置能够为 GPS 天线提供大位移简谐振动环境, 用于校准 GPS 动态定位性能, 也可以对其它试件进行具有类似要求的振动环境试验. 装置设计简单, 造价低廉.

关键词: 全球定位系统; 振动环境试验; 动态定位; 振动位移

中图分类号: V288; O321 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2000)06-0074-03

GPS(全球定位系统)具有连续跟踪、全天候测量、测量简便和可靠性高等优点, 已广泛应用于地质、建筑、桥梁和航空等领域^[1]. 除了航空方面, 目前 GPS 的应用多属于静态定位. 用 GPS 测量大型建筑、桥梁等结构在风载作用下的振动频率和位移, 是 GPS 可一显身手的新领域. 要进行此项工作, 必须知道 GPS 动态定位精度. 在 GPS 的技术指标中, 涉及动态定位的只有采样频率, 其它指标需用户通过试验确定.

要获得 GPS 动态定位精度, 必须有一个相对精度较高的振动环境试验装置. 根据对大型结构在风载作用下的振动频率和位移的统计结果, 要求该装置振动频率范围在 0.2 ~ 5 Hz, 最大位移不小于 200 mm(±100 mm), 且要求这一装置适用于外场试验. 显然, 现有激振设备(激振器、振动台、液压作动筒)不能满足上述要求. 根据上述要求, 结合振动理论和现有设备, 我们研制出双筒支梁大位移振动环境试验装置.

1 基本原理^[2,3]

设计一带集中质量的双筒支梁, 使其第一阶固有频率与 GPS 所要求的振动环境试验频率一致, 在梁的支点附近用激振器以梁的第一阶固有频率进行小位移激励, 使位于梁中央的 GPS 天线产生同频率大位移振动.

如图 1 所示的等截面双筒支梁, 长为 l 、单位长度质量为 ρA 、抗弯强度为 EI , 中央有一集中质量 M . 设其第一阶固有振动为

$$u(x, t) = a \sin \frac{\pi x}{l} \sin \omega_1 t \quad (1)$$

系统的动能和势能分别为

$$T = \frac{1}{2} \int_0^l \rho A \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{M}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \Big|_{x=\frac{l}{2}} = a^2 \omega_1^2 \left(\frac{\rho A l}{4} + \frac{M}{2} \right) \cos^2 \omega_1 t \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{2} \int_0^l EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx = a^2 \frac{EI}{4} \frac{\pi^4}{l^3} \sin^2 \omega_1 t \quad (3)$$

根据 Rayleigh 商得到第一阶固有频率为

$$f_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI}{l^3 (\rho A l + 2M)}} \quad (4)$$

如果双筒支梁是矩形梁, 其惯性矩 $I = bh^3/12$, 其中 b 为梁的宽度, h 为梁的厚度. 根据式(4), 改变梁的长度及截面尺寸, 并调节梁中央的附加质量, 便可获得满足 GPS 各个频率和振幅要求的双筒支梁.

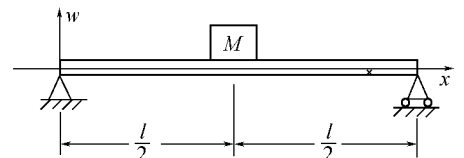


图 1 带附加质量的双筒支梁
Fig.1 Double simply supported beam
with an additional mass

2 装 置

装置如图 2 所示,包括双筒支梁、激振器、功率放大器、信号发生器、位移传感器(非接触式)以及信号分析仪。GPS 天线位于梁中央(相当于图 1 中集中质量 M)。

工作过程如下:信号发生器输出一个与双筒支梁第一阶固有频率一致的简谐信号,经功率放大器放大后推动激振器,激振器对梁进行激振使梁共振,调节功率放大器,使 GPS 天线的振动位移符合要求。在 GPS 整个工作过程中,装置保持这一稳态振动。该装置应重点考虑激振器的安装位置及位移测量方法。

一般激振器的最大位移为 $\pm 10\text{ mm}$,最大激振力也有限。如果激振器安装位置不当,将难以使 GPS 天线产生所要求的位移。从激振器最大位移考虑,安装位置应尽量靠近双筒支梁的支点,从激振器激振力考虑,安装位置应靠近双筒支梁的中间。因而激振器安装应两者兼顾。

设激振器的最大位移为 $\pm 10\text{ mm}$,若要求 GPS 天线振动位移为 $100\sin\omega_1 t(\text{ mm})$ (此时式(1)中的 $a = 100$) ,由式(1)得梁上振动位移为 $10\sin\omega_1 t(\text{ mm})$ 的测量点到梁的支点的距离 x (图 3)为

$$100\sin\frac{\pi x}{l}\sin\omega_1 t = 10\sin\omega_1 t \quad x = 0.0319l$$

因此激振点到梁的支点的距离应小于 $0.0319l$ 。

一般位移传感器的测量范围小于 $20\text{ mm}(\pm 10\text{ mm})$,不能直接测量 GPS 天线的振动位移。本装置采用间接方法测量 GPS 的振动位移。设位移传感器到梁支点的距离为 b ,测得的位移为 $a_b\sin\omega_1 t$,根据式(1)得

$$a_b\sin\omega_1 t = a\sin\left(\frac{\pi b}{l}\right)\sin\omega_1 t \quad a = \frac{a_b}{\sin\left(\frac{\pi b}{l}\right)}$$
$$\frac{a_b}{\sin\left(\frac{\pi b}{l}\right)}\sin\omega_1 t$$

于是 GPS 天线的振动位移为

图 2 装置不适于做 0.5 Hz 以下的试验。这是因为,当双筒支梁的第一阶固有频率小于 0.5 Hz 时,其弯曲刚度很弱,产生的静扰度十分严重,若用橡皮绳悬挂来克服静扰度,橡皮绳的悬挂刚度已接近甚至超过梁的弯曲刚度,梁的固有频率将变化很大。可以用图 4 的装置进行 0.5 Hz 以下的振动试验,其中的梁是一刚性梁,梁支点两端的力矩平衡,使梁在初始状态保持水平,此时,将激振器顶杆上的螺栓轻轻地旋入预先胶接在梁上的螺栓孔内,并用螺帽固紧,应保证梁在激振器与其联接后仍然处于水平状态。该装置利用的是杠杆原理,激振器在支点附近的小位移简谐激励,可以使位于杠杆端头的天线产生较大位移的同频率简谐振动。

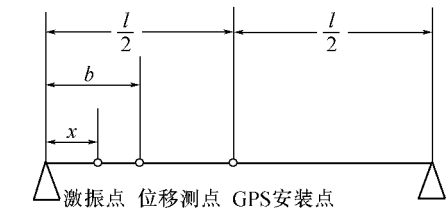


图 3 激振器、位移传感器安装位置示意图

Fig.3 Installation of vibration exciter and displacement transducer

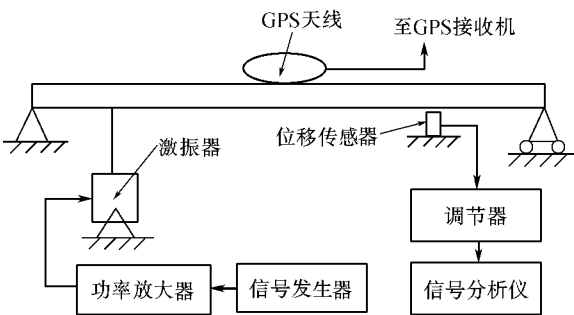


图 2 GPS 振动环境试验装置一

Fig.2 Device I for GPS vibration environment experiment

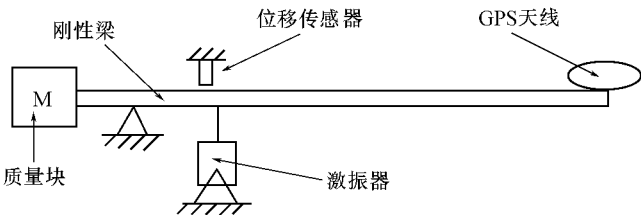


图 4 GPS 振动环境试验装置二

Fig.4 Device II for GPS vibration environment experiment

3 实 验 结 果

经外场实际使用,本装置可以实现 $0.2\sim 0.5\text{ Hz}$ 的连续可调,以及 1 Hz 2 Hz 3 Hz 4 Hz 和 5 Hz 的简谐振动,其

振幅示值误差小于 1% ,信号失真度小于 0.5% .图 5 是用图 2 和图 4 装置产生的简谐振动的时间历程与频谱.

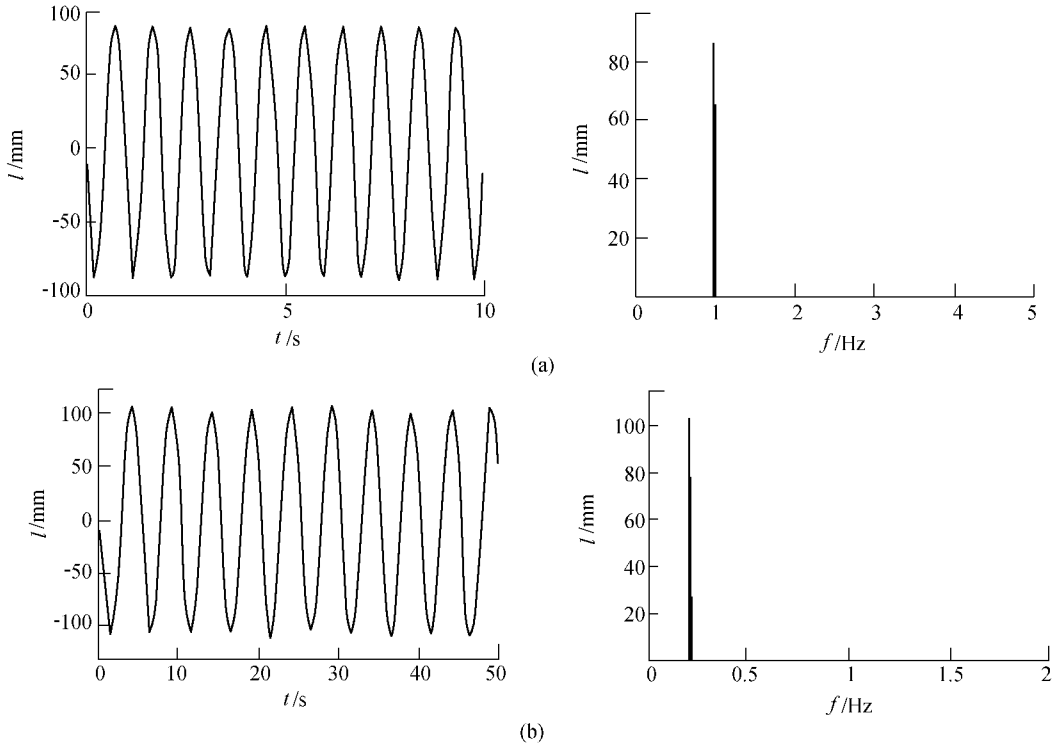


图 5 时间历程与频谱
Fig.5 Time history and spectrum

4 结 束 语

实际使用表明 ,该装置效果良好 .设计该装置时应注意以下几点 (a)为保证装置有足够大的位移 ,双简支梁应达到一定的长度 (b)激励器安装位置尽量靠近梁的根部 (c)位移传感器安装位置要适当 .如果条件允许 ,则采用闭环控制 ,效果会更好 .

参考文献 :

[1] 刘基余 ,李征航 ,王跃虎 .全球定位系统原理及其应用 [M] .武汉 :测绘出版社 ,1993 .208 ~ 294 .
[2] 张准 ,汪凤泉 .振动分析 [M] .南京 :东南大学出版社 ,1991 .345 ~ 363 .
[3] 胡海岩 .机械振动与冲击 [M] .北京 :航空工业出版社 ,1998 .145 ~ 175 .

Development of a Device for GPS Vibration Environment Experiment

XU Qing-hua¹ ,ZHOU Chuan-rong¹ ,LUO Zhi-cai²

(1 . Research Institute of Vibration Engineering ,NCAA ,Nanjing 210016 , China ;
2 . The Hongkong Polytechnic University ,Kowloon , Hongkong , China)

Abstract : The precision of dynamic positioning of GPS must be known ,for accurate measur ement of vibration frequency and displacement of large structures such as buildings and bridges . For this purpose , a calibration device of high precision is needed . In this paper , a device for GPS vibration environment experiment is introduced . The device can provide simple harmonic vibration with a large displacement for GPS aerial . It can be used to calibrate the dynamic positioning of GPS . Besides , it can be used to similar experiments . The device is easy to design , and it is low in price .

Key words : GPS ;vibration environment experiment ;dynamic positioning ;vibration displacement