

文章编号:1007-1180(2011)12-0026-06

光电经纬仪载车振动特性分析

王守印, 王晓明

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 光电经纬仪载车是经纬仪的承载和运输平台, 它的振动特性直接影响经纬仪性能的稳定性和有效使用时间, 有必要对光电经纬仪载车振动特性进行优化设计。本文在分析载车振动环境的基础上, 对载车的振动系统模型进行了简化, 理论推导出简化后的载车振动系统数学模型。然后依据工程实际进行了跑车试验, 在选取的3个特征点处采集振动特性数据并进行分析。试验结果表明, 在正常行车情况下经纬仪发生多级谐振, 高频(8~16 Hz)分量振动强度较大, 最大振动加速度达到 7.9 m/s^2 。高频振动将对经纬仪的精度产生不利的影响, 尤其是对质量较小、结构刚度较差的经纬仪影响更大。最后, 提出抑制光电经纬仪载车高频谐振的方法, 达到减小载车振动对光电经纬仪稳定性的影响。

关键词: 振动; 频率; 载车; 加速度

中图分类号: TH761.1 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112812.0026

Analysis of Optical Theodolite Car's Vibrate Features

WANG Shou-yin, WANG Xiao-ming

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: The car is a platform which the theodolite set out carrying and transporting, the vibration characteristics of the car directly affects the stability of theodolite. To improve the stability of theodolite and effective using time, it is necessary to optimize the design of the vibration characteristics of the car. Firstly, the analysis set out on the basis of vehicle vibration, the vibration of the system of loading model was simplified to derive the simplified mathematical model of vibration system for the cars. And then sports car tests based on engineering were conducted, and three characteristic points of data collection were selected and the vibration characteristics were analysed. The results

showed that under normal operating conditions, the theodolite occurred multi-level resonance, high-frequency(8~16 Hz) component had a larger vibration strength, the maximum acceleration was 7.9 m/s^2 . The high frequency vibration will adversely affect the accuracy of the theodolite, especially for the smaller quality, less stiffness theodolite. Finally, the method of inhibition high-frequency resonant optical theodolite was put forward to reduce the impact of vibration on the loading stability of theodolite.

Keywords: vibration; frequency; for the cars; acceleration

1 引言

目前,国内的光电经纬仪采用两种布站形式:固定式和机动式。机动式光电经纬仪运输时采用整体式运输,整体式运输不需要将经纬仪解体,只需将经纬仪整体与载车固定后即可运输。光电经纬仪是高精度的测量仪器,由于其结构和材料的特殊性,决定了它承受冲击、振动的能力较弱。因此,分析、研究光电经纬仪载车的振动环境,寻找减轻振动的途径与方法是提高光电经纬仪载车性能的主要手段,其目的就是控制振动的传递,使机动式经纬仪在运输过程中所受到的冲击、振动在可承受的范围内。本文对四轮独立悬挂式经纬仪载车的振动环境进行了分析。

2 载车的振动对经纬仪的影响

汽车行驶时,由于路面的不平等因素激起汽车的振动,使乘员或货物处于振动环境之中。振动影响人的舒适性、工作效能和身体健康,同时还影响所承载货物的完好状态。载车的振动主要是由汽车以一定车速驶过随机的路面不平度所引起,该振动经过轮胎、悬架、减振器等弹性、阻尼元件和悬挂质量、非悬挂质量构成的减振系统,传递到悬挂质量或光电经纬仪上。振动所产生的冲击与路面的不平度和载车行驶的速度有关。根据光电经纬仪各个特征点所承受的加速度来评价载车振动环境的优劣^[1-2]。

光电经纬仪是典型的精密测量仪器,它集高

精度轴系、高成像质量望远镜及先进的电子学技术于一体,被广泛地应用在国民经济建设的多个领域。高强度的机械振动易使望远镜的光学元件产生松动,降低光学系统的成像质量;同样,高强度的机械振动也会对高精度轴系的精度、电子学系统的可靠性产生不良的影响^[3-4]。

3 系统简化

3.1 载车振动系统的简化

载车是一个复杂的振动系统,应根据所分析的问题进行简化。

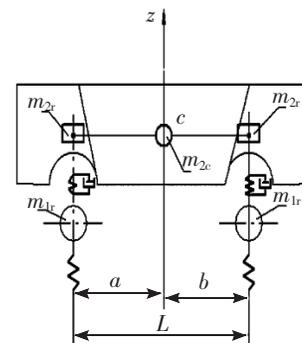


图1 载车简化的平面模型

当汽车对称于纵轴线,且左、右车辙的不平度函数 $x(t)=y(t)$, 此时汽车车身只有垂直振动和俯仰振动,这两个自由度的振动对平顺性影响最大。图1为汽车简化成4个自由度的平面模型。在这个模型中,又因轮胎阻尼较小而予以忽略,同时把质量为 m_2 、转动惯量为 I_y 的车身按动力学等效的条件分解为前轴上、后轴上及质心 C 上的3个集中质量 m_{2f} 、 m_{2r} 及 m_{2c} 。这3个质量由无质量的刚性杆连接,它

们的大小由下述 3 个条件决定:

(1) 总质量保持不变

$$m_{2f} + m_{2r} + m_{2c} = m_2 \quad (1)$$

(2) 质心的位置不变

$$m_{2f}a - m_{2r}b = 0 \quad (2)$$

(3) 转动惯量 I_y 值保持不变

$$I_y = m_2 \rho_y^2 = m_{2f}a^2 + m_{2r}b^2 \quad (3)$$

式中: ρ_y 为绕横轴 y 的回转半径, a 、 b 为车身质量部分的质心至前、后轴的距离。

图 2 是分析车身振动的单质量系统模型, 它由车身质量 m_2 和弹簧刚度 K 、减振器阻力系数为 C 的悬架组成, q 是输入的路面不平度函数。

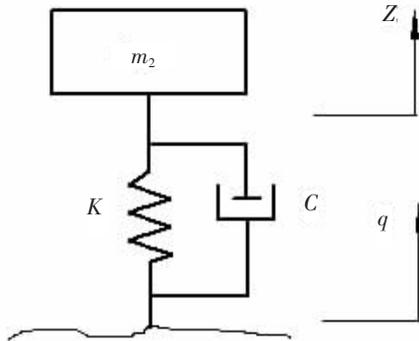


图 2 车身单质量系统模型

车身垂直位移坐标 Z 的原点取在静力平衡位置, 根据牛顿第二定律, 得到描述系统运动的微分方程为:

$$m_2 \ddot{Z} + C(\dot{Z} - \dot{q}) + K(Z - q) = 0 \quad (4)$$

该方程的解由自由振动齐次方程的解与非齐次方程特解之和组成。

令 $2n = \frac{C}{m_2}$, $\omega_0^2 = \frac{K}{m_2}$, 则齐次方程为:

$$\ddot{Z} + 2n\dot{Z} + \omega_0^2 Z = 0 \quad (5)$$

式中: ω_0 称为系统固有圆频率, 而阻尼对运动的影响取决于 n 和 ω_0 的比值 ξ , ξ 称为阻尼比:

$$\xi = \frac{n}{\omega_0} = \frac{C}{2\sqrt{m_2 K}} \quad (6)$$

此时微分方程的解为:

$$Z = Ae^{-nt} \sin(\sqrt{\omega_0^2 - n^2}t + a) \quad (7)$$

这个解说明, 有阻尼自由振动时, 质量 m_2 以有阻尼固有频率 $\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - n^2}$ 振动, 其振幅按 e^{-nt} 衰减。

3.2 经纬仪的固定装置

在运输过程中, 由于路面凸凹不平, 以及加速、刹车等均能引起经纬仪前后、左右晃动, 这种晃动会对仪器的光学系统、机械结构造成损害。所以, 在经纬仪底部固定之后, 还要对其转台部分进行部分“防翻”固定, 即消除由于路面凸凹不平、加速、刹车等对经纬仪产生的翻转力矩。“防翻”结构设计如图 3 所示。

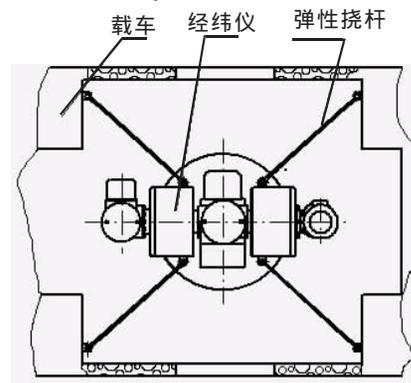


图 3 防翻结构示意图

经纬仪被 4 个弹性拉杆与车体固定在一起, 这样可以防止前后、左右 2 个方向的摆动所产生的翻转力矩。

弹性拉杆由钢丝绳、紧线器和减振弹簧 3 部分组成。弹性拉杆既可调整拉线的预紧力, 又可以吸收车体的振动, 使其对仪器的冲击振动最小。

4 载车的振动特性试验

4.1 试验目的

进行载车振动特性试验的目的是检验载车的振动特性, 了解载车振动的传递规律及几个主要特征点的振动强度, 了解载车在不同频率下的振动特性, 验证不同频率下的振动对经纬仪性能的影响程度。

4.2 试验条件

4.2.1 道路条件

依据国家标准 GB4970-85《汽车平顺性随机输入行驶试验方法》的规定, 实验路面包括两种:

(1) 沥青路, 相当于二级公路; (2) 砂石路, 相当于三级公路。

4.2.2 载车的技术状态

载车为低货台的四轮独立悬挂特种载车。载车自重为 8 500 kg, 仪器重量为 3 500 kg。轮胎充气压力: 910 kPa。

4.2.3 试验车速

GB4970-85 规定, 试验车速至少应包括常用车速在内的 3 个车速。选择 50 km/h 为沥青路面的常用车速, 20 km/h 为砂石路面的常用车速, 据此, 匀速行驶平顺性试验车速为:

沥青路面: 30、40、50 km/h

砂石路面: 10、20、30 km/h

4.3 试验方法

4.3.1 测点位置的选择

本试验要检测经纬仪在运输状态下的振动加速度。通过对经纬仪结构分析, 从动力学角度将主机分为弹性连接的 3 个刚性体:

(1) 机座: 包括载车上的连接过渡基座、主机基座、调平机构、抗扭薄膜和主机机体。这些部分以大面积接触短螺栓连接, 可视为一个刚性整体。

(2) 转台: 通过回转轴承与机座连接, 运输状态下机械锁定, 同时还通过防翻拉杆与车架连接。将锁定后的回转机架及防翻机构视为弹性体。

(3) 主望远镜系统: 通过回转轴承和推力轴承与回转机架上的水平轴相连, 运输状态下机构锁定。将锁定后的望远镜系统视为一个弹性体。

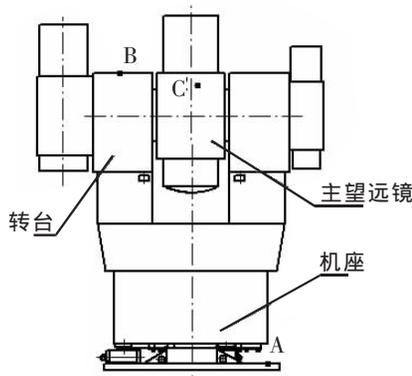


图 4 测点位置示意图

以上述分析为依据, 在机座、转台、主望远镜 3 部分上各选一个测点, 分别记为 A、B、C, 如图 4 所示。每个测点安装 3 个加速度传感器, 分析检测 3 个方向的加速度信号。

4.4 评价方法和试验结果

4.4.1 检测信号与通道序号的对应关系

X: 载车的横向;

Z: 载车的垂直方向;

Y: 载车的纵向;

W_{xa} : A 点 x 向加速度值;

W_{za} : A 点 z 向加速度值;

W_{ya} : A 点 y 向加速度值;

W_{xb} : B 点 x 向加速度值;

W_{zb} : B 点 z 向加速度值;

W_{yb} : B 点 y 向加速度值;

W_{xc} : C 点 x 向加速度值;

W_{zc} : C 点 z 向加速度值;

W_{yc} : C 点 y 向加速度值。

4.4.2 试验结果

试验结果见表 1。

5 试验结果的分析与讨论

通过分析表 1 的数据可得出如下结论:

(1) 通过对各种频率所对应的加速度峰值统计分析发现, 峰值频率分布在 0.4、1.2、1.6、2.4、3.2、4.0、8.0、12、16 等几个频率点附近。频率点之间存在整倍数关系。

(2) A 点的振动加速度值始终都比较低。尤其是纵向加速度, 它的峰值小到可以忽略不计的程度。特别是 A 点的加速度对于路况的改变和车速的变化都不敏感。

(3) B 点横向摆动的加速度值最高, 在砂石路面以 30 km/h 行驶时, 8 Hz 的峰值达到 7.9 m/s^2 。8 Hz 的振动不大可能是经由载车的二级减振弹簧传递的, 很可能是向斜下方拉紧的弹性拉杆的预紧力过大的原因。

表1 各测点在不同频率时的加速度值 (m/s^2)

路况	车速 km/h	通道号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		符号 频率 (Hz)	W_{za}	W_{za}	W_{ya}	W_{zb}	W_{zb}	W_{yb}	W_{zc}	W_{zc}	W_{yc}
沥青路面	30	2.4	0.10	0.48		0.43	1.06	0.39	0.42	0.91	0.38
		3.2				0.19			0.19		
		4.8				0.12			0.11		
		7.2							0.10		
		9.6				0.38			0.40		
	40	2.4		0.13							
		3.2	0.26	0.41	0.16	2.16	0.26	0.25	2.27	0.50	2.4
		6.4				0.22			0.25		
		9.6				1.68			0.92	0.17	
		16					0.11				
	50	2.4					0.10	0.11		0.13	0.10
		3.2				0.22			0.23		
		4.0	0.1	0.35		1.30	0.33	0.94	1.30	0.63	0.92
		8.0				0.60		0.22	0.65	0.13	
		16					0.17			0.14	
砂石路面	10	2.4		0.35			0.38			0.42	
		3.2	0.28	0.27		1.34	0.25	0.36	1.36		3.2
		4.8									
		9.6				0.32			0.31		
		12						0.27			0.27
	20	2.4	0.36	0.88		1.93	0.87		1.90	0.95	
		3.2		0.29	0.10	1.54	0.27	1.30	1.70	0.22	1.29
		4.8		0.16		1.00		0.57	1.16	0.28	
		6.4			0.19	1.40		0.54	1.95	0.62	0.51
		8.0				2.70			2.00	0.97	
	30	3.2	0.19	0.34		1.90	0.34	0.88		0.47	
		4.8		0.16		1.70		0.73	2.10		
		6.4			0.25	2.30	0.10	1.00	3.10	1.20	0.98
		8.0	0.10	0.15	0.10	7.90	0.20	4.11	6.90	4.44	3.90
		14.4		0.20			0.42				

(4) 在正常行车情况下经纬仪发生多级谐振, 高频 (8~16 Hz) 分量振动强度较大。这是该载车十分显著的动力学特性, 高频振动将对经纬仪的精度

产生不利的影响, 尤其是对质量较小、结构刚度较差的经纬仪影响更大。

参考文献

- [1] 于志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 类成华, 王守印, 谭凡教. 车载式光电经纬仪特性[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2006, 29(S1): 7-9.
- [3] 王守印, 张春林, 赵丽, 等. 光电经纬仪载车平顺性试验研究[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(1): 91-93.
- [4] 赵学颜, 李迎春. 靶场光学测量[M]. 北京: 装备技术指挥学院出版社, 2000.

作者简介: 王守印 (1955-), 男, 吉林长春人, 研究员, 主要从事光电经纬仪光机结构总体设计方面的研究。

E-mail: ciomp_wsy@yahoo.cn

我国脉冲磁场强度诞生新记录

11月8日凌晨5时28分, 华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心(筹)取得重要突破。该中心自行研制的国内首个双线圈脉冲磁体成功实现了83 T的磁场强度, 刷新我国脉冲磁场强度记录, 使我国非破坏性磁场强度水平跃居世界第三、亚洲第一。

记者在现场看到, 由于采用液氮冷却, 测试完的圆柱状磁体表层结了厚厚一层冰。该磁体高450 mm, 直径为400 mm, 磁体孔径14 mm, 重达150 kg。磁体采用双线圈结构, 包括内外两个线圈, 分别采用1.6兆焦耳和8兆焦耳共10个电容器模块供电。与普通单线圈磁体相比, 双线圈磁体能产生更高的场强, 但其结构更加复杂、研制难度更大, 对电源和控制要求更高, 是对脉冲强磁场工程技术的重要挑战。

11月7日下午3时, 测试工作正式开始, 电压从500 V逐步上升至5 kV、10 kV、15 kV……22 kV, 11月8日凌晨, 在内线圈14.5 kV、外线圈22 kV的充电电压下, 磁体成功实现83 T的峰值磁场, 磁体、电源、控制系统工作状态一切正常。

特斯拉是磁感应强度的单位。高强度的磁场为科学研究提供了新的工具, 能够为物理、材料、化学等前沿基础研究发现新现象、揭示新规律提供更多机遇。使用10个电容器模块同时供电、成功突破80 T的磁场强度, 全方位地验证了建设中的脉冲强磁场实验装置的可靠性, 证明我国在脉冲强磁场的磁体技术、电源技术与控制技术等方面已达到世界一流水平。