

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.04.09

2270 型压电加速度计安装方向对测量结果影响的研究

张洁文, 张强, 刘科

(中国工程物理研究院计量测试中心, 四川 绵阳 621900)

摘要: 2270 型压电式加速度计通常会被用作标准加速度计开展量传工作, 其安装方向会对测量结果产生较大的影响。为研究安装方向与测量结果的关系, 介绍了压电加速度计的工作原理和结构形式, 讨论了安装方向及安装谐振频率对于被校压电加速度计灵敏度的影响, 并进行试验研究。结果表明, 2270 型压电式加速度计合理的安装方向能够保证加速度计灵敏度有良好的频率响应特性以及幅值线性度。

关键词: 压电加速度计; 安装方向; 谐振频率; 灵敏度

中图分类号: TB934; TM825

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)04-0036-04

Research of the Installation Direction's Influence of 2270 Piezoelectric Accelerometer on Sensitivity

ZHANG Jiewen, ZHANG Qiang, LIU Ke

(Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: 2270 piezoelectric accelerometer is usually used as a standard accelerometer to develop the measurements and transmission works, which will have a great impact on the measurement results if the installation direction is unreasonable. In order to research the relationship between its installation direction and measurement results, the working principle and its structure are analyzed firstly. The influence of installing resonance frequency on its sensitivity and the relationship between its installation direction and installing resonance frequency are discussed secondly. The experimental research is carried out at last. It shows that reasonable installation direction can ensure excellent frequency response and amplitude linearity of the accelerometer sensitivity in different applications.

Key words: piezoelectric accelerometer; installation direction; resonant frequency; sensitivity

0 引言

压电加速度计在振动冲击试验、精密机械加工、结构健康监测等领域应用广泛。根据应用场景的不同, 将压电加速度计分为标准压电加速度计和工作压电加速度计^[1]。标准压电加速度计的压电晶体与其顶端相连, 工作压电加速度计的压电晶体与其底面相连。

某 2270 型压电加速度计属于标准压电加速度计, 通常用来对工作加速度计开展量值传递工作, 也可用于振动台的反馈控制, 其主要特性参数为灵敏度。文献[2]至文献[7]讨论了螺栓安装、磁座安装、粘合剂安装、绝缘块安装等不同方式对加速度计的安装谐振频率和灵敏度产生影响, 但对于加速度计安装方向并未讨论。根据应用场景的不同, 压电加速度计有两种不同的安装方向, 本文通过理论分析与试验研究, 讨论了在冲击法校准(比较法校准)以及振动法校准(绝

对法校准)下的安装方向对测量结果的影响。

1 工作原理

压电加速度计利用压电晶体的正压电效应(即压电晶体输出的电荷量与其所受交变惯性力的大小成正比^[1])进行工作。当压电加速度计受到交变力作用时, 压电晶体的加速度与其所受交变力的关系表示为

$$F = ma \quad (1)$$

式中: F 为压电晶体受到的交变力; m 为压电晶体的质量; a 为压电晶体的加速度。

压电晶体输出的电荷量与其所受交变力关系表示为

$$Q = d_{ij}F \quad (2)$$

式中: d_{ij} 为与压电晶体特性相关的常数; Q 为电荷量。

2 结构及简化模型

2270 型压电加速度计内视图如图 1 所示。采用倒

装式结构,基座与加速度计的顶部相连,弹簧、压电元件、质量块安装于基座上,此结构形式,保证了该加速度计在各种应用场景下均有良好的特性^[8]。

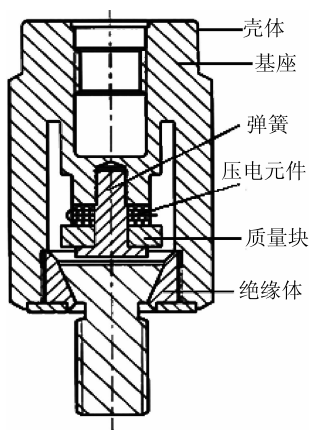


图1 2270型压电加速度计内视图

为便于分析,可将其简化为二阶弹簧振子模型^[9],如图2所示。

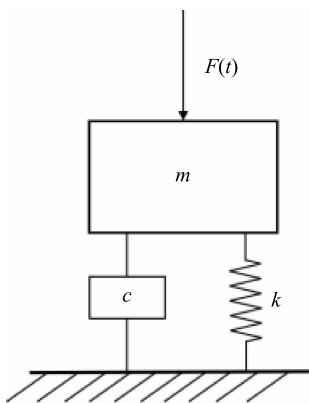


图2 2270型压电加速度计简化模型

其振动方程可表示为

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (3)$$

式中: m 为质量; c 为阻尼系数; k 为刚度系数; x 为压电晶体的位移; $F(t)$ 为作用于压电加速度计的外力。

当初始状态为0,对式(3)进行拉普拉斯变换,可得其传递函数为

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + \frac{c}{m}s + \frac{k}{m}} \quad (4)$$

假设安装基座的质量为无穷大,典型的压电加速度计的无阻尼固有频率 f_n 可表示为

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5)$$

考虑实际工作情况,当安装基座质量有限时,安装谐振频率 f_B 可表示为

$$f_B = f_n \sqrt{1 + \frac{m}{B}} \quad (6)$$

式中: B 为安装基座的质量。当安装基座的质量为被校加速度计质量的10倍以上,相比被校加速度计的安装谐振频率,安装基座的谐振频率较高。

3 安装谐振频率对灵敏度影响分析

根据式(4)建立的传递函数,将压电加速度计的灵敏度设为1,对阻尼比为0.3,安装谐振频率 f_B 为30, 100 kHz的压电加速计分别进行仿真分析,如图3所示。

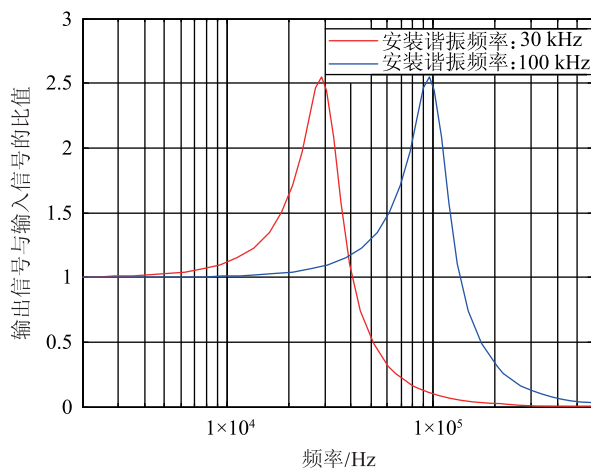


图3 不同安装谐振频率下被校加速度计输出信号与输入信号比值随输入信号频率变化曲线

图3表明,安装谐振频率过低会导致加速度计的灵敏度频率响应较差,具体表现为输入信号频率较高时,输出信号异常偏大,导致计算出的被校加速度计灵敏度偏大^[10]。

4 安装方向对测量结果影响试验

4.1 冲击法校准试验

如图4(a)所示,将被校加速度计UP方向向下、标准加速度计UP方向向上,使用螺栓刚性安装在冲击台POP上,此方向为冲击法背靠背安装;如图4(b)所示,将被校加速度计UP方向向上、参考加速度计UP方向向上,使用螺栓刚性安装在冲击台POP上,此方向为冲击法正向安装;两种安装方向的校准结果如表1所示。

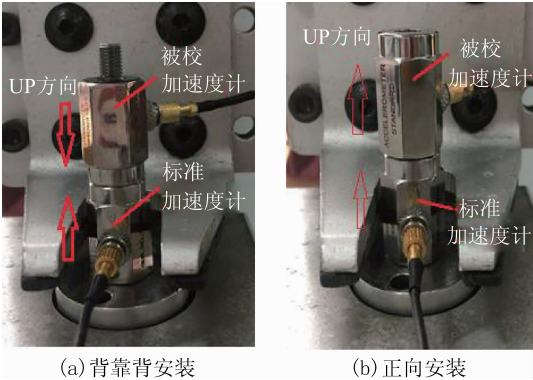


图 4 加速度计冲击法校准安装方向

表 1 冲击法校准在不同安装方向下的校准结果

安装方向	加速度峰值/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	灵敏度 $\text{pC}/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	冲击灵敏度 $\text{pC}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	灵敏度幅值 线性度/%
背靠背 安装	16709.6	0.1960	0.1998	4.6
	35322.6	0.1972		
	45319.5	0.1996		
	55259.5	0.1995		
	66719.5	0.2007		
	79577.0	0.2024		
	95288.3	0.2030		
正向 安装	16294.7	0.2042	0.2124	9.0
	31952.0	0.2076		
	48128.1	0.2099		
	65868.3	0.2122		
	78580.7	0.2144		
	89510.2	0.2172		
	95998.3	0.2211		

在相同试验条件下,开展了多组重复试验,试验结果与表 1 中的试验结果相近,以表 1 数据为例进行分析,比较两种安装方向的校准结果可知:与背靠背安装相比,正向安装的灵敏度及灵敏度幅值线性度偏大。这是由于正向安装下,被校加速度计的壳体不是绝对的刚体,导致被校加速度计的安装谐振频率降低,两只加速度计的振动量级不同,根据分析,安装谐振频率降低,会导致被校加速度计在高频段灵敏度偏大,且随着加速度变大,脉宽降低,脉冲信号中所含的高频信号增多,被校加速度计甚至会发生谐振,灵敏度异常;而背靠背安装保证了两只传感器的安装谐振频率一致,两者的振动量级相同,校准结果合理。

因此,使用冲击法(比较法)校准加速度计时,应将被校加速度计与标准加速度计背靠背安装在冲击台上。

4.2 振动法校准试验

振动法校准试验的基本原理是使用被校加速度计

和激光干涉仪同时对标准振动台输出的同一振动信号进行测量,根据二者测量结果计算被校加速度计的灵敏度,实现对压电加速度计灵敏度的校准。

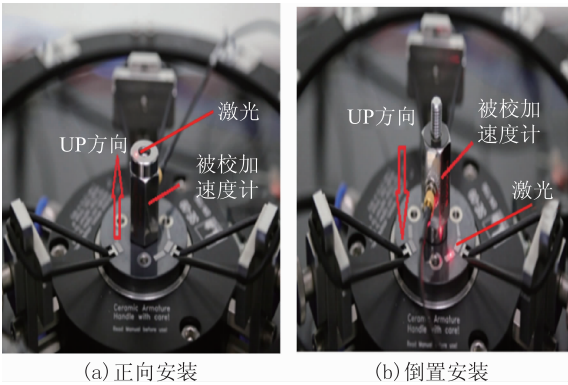


图 5 加速度计振动法校准安装方向

如图 5(a)所示,将被校加速度计下底面与标准振动台台面使用螺纹连接,测量镜贴在被校加速度计上底面上,激光照射在测量镜上,此方向为振动法正向安装;如图 5(b)所示,将被校加速度计上底面与标准振动台台面使用螺纹连接,测量镜贴在标准振动台上,激光照射在测量镜上,此方向为振动法倒置安装。两种安装方向的校准数据如表 2 所示。

相同的试验条件下,开展了多组重复试验,试验结果与表 2 中的试验结果相近,以表 2 数据为例进行分析,比较两种安装方向的校准结果。正向安装时,加速度计所测量的加速度与激光所测的加速度相同,均为加速度计上底面所感受的加速度,未出现由于谐振频率不一致导致的被校加速度计与激光法所测的加速度不一致现象,因此,校准结果正常。倒置安装的被校加速度计灵敏度频率响应特性较差,输入信号频率大于 5000 Hz 时的灵敏度相对于 160 Hz 时的灵敏度,已经有 10% 以上的正向偏差。原因在于,被校加速度计并非与标准振动台刚性连接,其安装谐振频率比安装基座的谐振频率低,而此时激光法所测的加速度为安装基座的加速度,因此二者的谐振频率不一致,导致了被校加速度计与激光所测的加速度不同,对于同一振动输入,被校加速度计的测量结果偏大,因此,加速度计的灵敏度会异常偏大,且输入信号频率越高(低于被校加速度计的安装谐振频率),灵敏度越大。

因此,使用振动法(绝对法)校准 2270 型加速度计或与其具有相似倒装结构的加速度计时,应将被校加速度计正向安装于标准振动台台面,并将激光照射于被校加速度计的上底面。

表2 振动法校准在不同安装方向下的校准结果

频率/Hz	加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	正向安装		倒置安装	
		灵敏度 $\text{pC}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	误差/%	灵敏度 $\text{pC}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	误差/%
5	2	0.1909	-0.04	0.1912	0.09
16	5	0.1910	0.02	0.1912	0.08
80	50	0.1909	-0.01	0.1913	0.17
160	100	0.1907	参考点	0.191	参考点
630	100	0.1908	-0.10	0.1913	0.15
2000	100	0.1907	-0.04	0.1929	0.99
3000	100	0.1912	-0.06	0.1955	2.35
5000	100	0.1925	-0.14	0.2040	6.83
8000	100	0.1955	-0.25	0.2254	18.04
10000	100.3	0.1974	-0.09	0.2508	31.30

5 结 论

在标准加速度计的计量校准和应用中，不合理的安装方向会导致测量结果错误。JJG 233 - 2008《压电加速度计检定规程》对使用比较法校准时的加速度计安装进行了规定，但未解释其原因，针对绝对法校准的加速度计安装及激光测振仪安装则未做详细说明。针对这一问题，本文介绍了压电加速度计的工作原理，分析了2270型压电式加速度计的结构形式，讨论了安装方向以及安装谐振频率对于被校压电加速度计灵敏度的影响，然后开展了试验研究。通过理论分析、试验研究，得出了在对标准加速度计进行冲击（比较法）校准以及振动（绝对法）校准时的正确安装方向，对于开展标准加速度计校准工作有重要参考意义。

参 考 文 献

[1] 杨晓伟. 振动校准现状及发展综述[J]. 宇航计测技术, 2000, 12(6): 41-47.
[2] 董平, 丁耀芳. 标准压电加速度计的安装方向对其测量结果的影响[J]. 上海计量测试, 2017, 261(5): 47-49.
[3] 周长华, 马青量, 黄锋. 不同安装方式对压电加速度计灵敏度的影响[J]. 自动化与信息工程, 2014, 35(2): 25-28.

[4] 于雪莲. 加速度传感器安装方式对灵敏度的影响[J]. 中国计量, 2017(2): 114-116.
[5] 刘立群. 压电加速度计校准时不同安装方式的比较[J]. 上海计量测试, 2013, 238(6): 15-17.
[6] 朱丽. 振动传感器安装方式对频响的影响[J]. 中国科技信息, 2017(14): 56-57.
[7] 黄振坤. 浅谈计量检定中加速度计的安装固定[J]. 计测技术, 2013, 33(S1): 118-119.
[8] 国防科工委科技与质量司. 力学计量(下册)[M]. 原子能出版社, 2002.
[9] 唐国明, 杨曙年. 压电式加速度传感器安装谐振频率分析[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(007): 24-26.
[10] 杨爱东. 影响压电加速度传感器检定数据的主要因素, 上海计量测试[J]. 2012(1): 22-25.

收稿日期: 2020-06-12

作者简介



张洁文(1973-), 女, 上海人, 技师, 主要从事振动、冲击检定工作及计量测试技术研究。