

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.06.09

脉冲力校准装置提升及扶正机构设计及数据验证

商一奇, 李善明, 曹亦庆, 何旋, 赵巍宇

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要: 脉冲力发生装置的提升和扶正机构是脉冲力发生装置的重要组成部分, 提升和扶正机构对动态力校准的准确性和重复性起到至关重要的作用。对提升装置的选型和扶正机构的改进进行了描述和验证, 实验数据证明了设计的合理性, 满足对动态力传感器的校准需求。

关键词: 动态力; 脉冲力校准装置; 扶正机构

中图分类号: TB931

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)06-0035-05

Design and Data Verification of Lifting and Righting Mechanism of Impulse Force Generator

SHANG Yiqi, LI Shanming, CAO Yiqing, HE Xuan, ZHAO Weiyu

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: As the important components of an impulse force generator, the lifting mechanism and righting mechanism play a vital role in the accuracy and repeatability of dynamic force calibration. This paper designed and improved the lifting and righting mechanisms, which can satisfy the dynamic force calibration of force sensors. The good performance specification of the designation is verified based on the experimental data.

Key words: dynamic force; impulse force generator; centralizer

0 引言

脉冲力发生装置是通过一个已知质量的重锤正向砸在力传感器上来实现动态力的发生装置, 该装置让重锤垂直提升并摆正, 在重锤与力传感器的碰撞过程中, 保证没有其他外力对碰撞产生影响, 使已知质量完全作用在力传感器上。因此良好的提升机构和扶正机构的选型设计是保障脉冲力校准装置性能的关键^[2]。本文所设计的提升和扶正机构是应用在脉冲力输出范围在 1000 N~120 kN 的脉冲力校准装置上的, 提升机构提升高度约 1.5 m, 行文将对提升和扶正机构的机械机构和电气结构选型设计进行详细阐述。

1 提升机构的控制方式设计

1.1 提升机构的选型

提升机构的精度, 决定了提升高度的准确和高度的重复性, 常用的提升机构的运动方式主要有以下三种。

1) 丝杠结构

电机驱动丝杠系统带动扶正机构上下移动, 通过

电磁换向阀释放扶正机构。其优点是运行平稳, 缺点是运行速度过慢, 并且电磁释放方式容易产生干扰脉冲, 产生误触发影响数据采集。

2) 电机驱动钢绳方式

旋转电机通过绳索带动扶正机构上下移动, 通过电磁换向阀来释放扶正机构。其优点是行程远, 实现简单, 使用方便; 缺点是电磁释放方式容易产生干扰脉冲影响数据采集, 并且此类方式多采用单轨提升, 提升过程不平稳, 容易产生较大幅度的倾斜。

3) 气控或液压活塞系统

气动或液压活塞支撑扶正机构, 通过电磁换向阀可以方便的控制扶正机构的上下移动以及释放。其优点是扶正机构的上下移动以及释放全部可以通过上位机界面控制, 且提升能力相对较大, 缺点是行程有限。

本次设计的目标是 1000 N~120 kN, 而碰撞产生的脉冲力的大小是由锤体质量和碰撞加速度两个因素共同决定的, 碰撞加速度是由锤体提升高度和波形发生器的缓冲能力决定的, 与质量无关, 因此理想的最大加速度设计在 700 g, 持续时间在 0.5~1 ms 左右, 碰撞产生的波形为近似半正弦波形, 假定波形为半正弦, 则碰撞过程中产生的速度改变量为 $\frac{2AT}{\pi} \approx 4.41 \text{ m/s}$, 在理

收稿日期: 2017-10-10

作者简介: 商一奇(1982-), 男, 黑龙江人, 工学硕士, 主要从事冲击、转速计量校准研究。

想情况下,势能完全转换为动能,要想获得 4.41 m/s 的速度,跌落高度在 1.4 m 左右,但是碰撞的加速度波形没有标准半正弦波形饱满,加速度波形上升沿和下降沿较陡,波形的面积即为速度改变量,要小于公式计算,一般不小于 80% ,因此将跌落高度设置在 1.5 m ,可以满足最大力值校准需要。因为我们预计提升行程在 1.5 m ,且以气控或液压活塞系统方式干扰较小。通过对比分析,第三种方式气控或液压活塞系统提升速度适当可调,产生的干扰脉冲影响相对较小,适用于本装置。

气控或液压活塞系统提升及扶正机构(包含提升系统、释放结构等)的原理是通过气控或液压活塞撑起,滚动轴承能够沿导轨上下移动,并根据需要抱住和释放扶正机构连同锤体。落锤式脉冲力校准装置结构示意图如图1所示,电器示意图如图2所示。

同时还采用抱闸技术,当托架提升到指定高度后,负责提升的液压活塞需落回到零高度,此时托架立柱之间产生压力,用抱闸方式停住托架,使之静止在目标高度,然后释放抱闸机构释放托架,使托架近似于自由落体,这种释放方式干扰信号较小。

1.2 提升装置的精度验证

根据气控或液压活塞系统提升及扶正机构的工作原理,误差主要来自于提升高度数据的准确性,提升机构的位置测量选择采用光栅线位移测量系统完成,光栅线位移测量系统具有响应速度更快、安装公差较大的特点。通过设置参考零位、限位开关控制提升、下降运动的准确性、重复性以及安全性。光栅线位移测量系统选用 RENISHAW 的 RGH100X 直线光栅系统, $40 \mu\text{m}$ 栅距的 RG4 系统具有速度更快、安装公差更大的特点。读数头采用数字信号输出,分辨率 $10 \mu\text{m} \sim 10 \text{ nm}$ 。配有内置安装状态指示灯,如果安装正确则绿灯亮。读数头都有参考零位和/或限位开关。参考零位提供一个可重复定位的参考原点或零点,而限位开关用来指示轴向运动的终点。数字信号输出进入数据采集分析与控制系统进行检测与显示。

根据以上设计方案,我们对装置设置高度为 1000 mm ,对扶正机构与力传感器间的距离进行测量,并重复提升 10 次,验证试验数据如表1所示。

由实验数据可得,装置的提升高度的重复性很好,满足装置对提升重复性的要求。

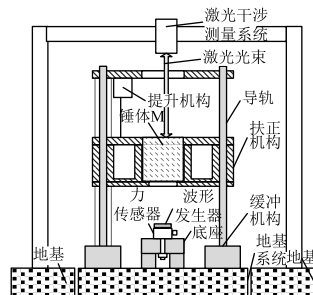


图1 落锤式脉冲力校准装置结构框图

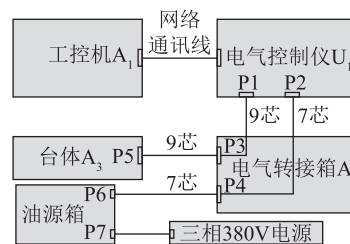


图2 落锤式脉冲力发生器电气框图

2 扶正机构的设计与改进

2.1 扶正机构的设计

扶正机构的特性决定了碰撞的质量,提升机构将扶正机构连同锤体一同沿导轨提升到所需的高度,之后释放,扶正机构沿导轨与锤体一同自由下落,自由下落的锤体通过缓冲垫与被校力传感器发生碰撞,此时扶正机构与锤体脱离并继续下落,下落能量被缓冲和刹车装置吸收。由于受到机械对中性、扶正机构、释放时的冲击等影响导致锤体质量块在撞击力传感器时,会产生横向加速度,横向加速度会使力传感器产生额外电输出。同时锤体质量块施加到力传感器上的脉冲力是通过整个锤体的平均加速度作用而得,而激光干涉系统测量到的只是质量块表面一点的加速度,锤体内的加速度会存在一定的不均匀性^[1,3-4]。这些都会对动态力传感器的灵敏度校准带来测量误差,所以该装置要对可能的锤体横向运动起约束作用,减小横向运动分量。因此扶正机构的意义是对锤体起导向作用从而减小碰撞时的横向运动。

表1 测量试验数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	提升高度示值误差	重复性/%
测试数据	1000.3	1000.1	999.9	999.5	1000.4	999.8	1000.1	1000.2	999.9	999.8	999.99	0.01	0.03

早期设计中,扶正机构(即保持架)安装面尺寸为 $303\times 350\text{ mm}$,底面尺寸为 $303\times 200\text{ mm}$,中间开孔直径 182 mm ,可安装冲击锤体的最大直径为 180 mm ,小于此直径的冲击可通过不同尺寸的过渡法兰安装,安装结构示意图如图3所示。固定盘与冲击锤头一体,确保定位精准,在冲击锤头的下端加工内螺纹,用于固定波形发生器。

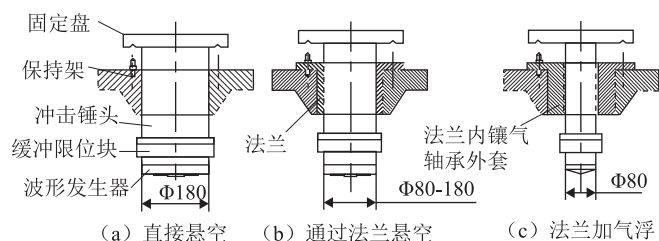


图3 扶正机构(即保持架)与锤体质量块安装结构示意图

缓冲和刹车装置选用某公司生产的工业缓冲器,缓冲速度从 $0.01\sim 8.0\text{ m/s}$ 可选,缓冲器实物及其安装方式如图4所示。

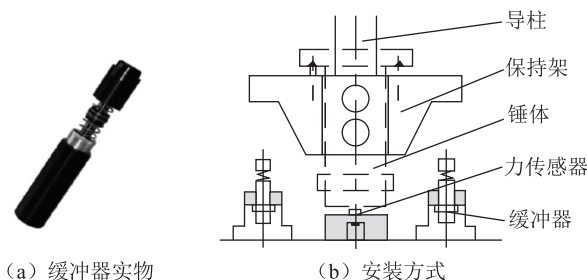


图4 缓冲器及其安装方式

2.2 扶正机构的改进

在跟产过程中,发现扶正机构过渡法兰上突出的支承螺钉承受强度过差,会对锤体支撑的水平度,及锤体支撑表面造成不同程度的损伤,同时采用钢制的扶正机构,会在锤体质量块一次碰撞反弹及提升过程中产生不同程度的磕碰,容易损伤锤体质量块,进而影响加速度脉冲的测量波形。扶正机构修改前加速度曲线图如图5(a)所示。

从图5(b)扶正机构修改后加速度曲线图中可以看出,损伤后的质量块再施加动态力时对加速度波形的峰值和脉宽都有不同程度的影响,因而无法读取到真实施加的加速度,因此将扶正机构的材质进行了修改,使用油浸胶木进行替代,并去除突出的支承螺钉,保证碰撞过程中锤体质量块不会损伤,同时油浸胶木的强度和加工后的精度又能够满足项目需求,改进后的扶正机构示意图如图6(a)所示。

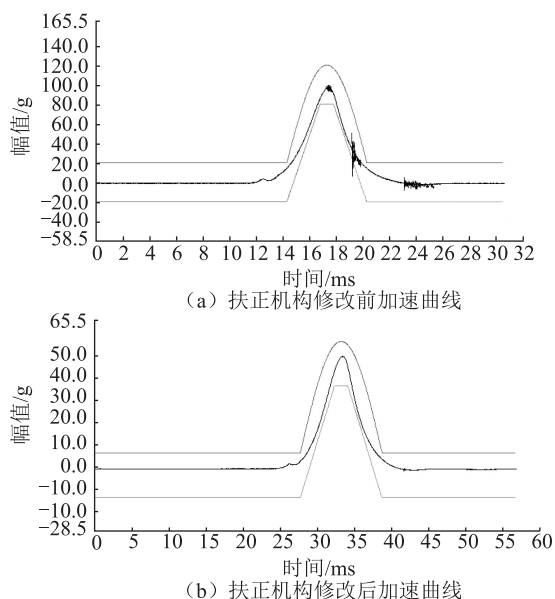


图5 扶正机构修改前后加速度曲线

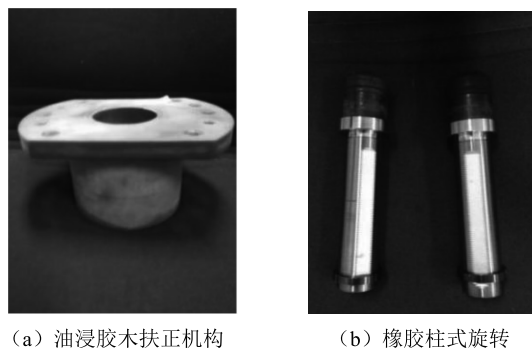


图6 扶正机构和缓冲器示意图

在跟产过程中发现液压缓冲器的弹簧刚度较小,缓冲位移较大,在 $60\sim 80\text{ mm}$ 以内。而产生脉冲力的碰撞过程位移较小,在几个毫米范围内。缓冲器过大的位移,会导致提升活塞与基座之间的撞击,同时台体停止运动后位置过低,会伤及底座上的力传感器。因此将油压缓冲器去除,设计了旋转螺杆,并在上端采用橡胶柱进行缓冲,大大减小了缓冲器的缓冲位移,起到较好的刹车缓冲效果,避免了托架大位移碰撞对波形的影响,改进后的缓冲器示意图如图6(b)所示。

3 装置的试验验证

落锤式脉冲力校准装置首先将被校力传感器与底座的砧体刚性连接,然后通过天平对锤体的质量进行测量,并将其安装于扶正机构上。提升机构将扶正机构和这个已知质量的锤体一同沿导轨提升到所需的高度,其高度位置可以通过位移测量系统进行测量。当

处于某个高度的扶正机构被释放时,扶正机构沿导轨与锤体一同自由下落,自由下落的锤体通过缓冲垫与被校力传感器发生碰撞,此时扶正机构与锤体脱离并继续下落。与此同时锤体以一定的速度与被校力传感器发生碰撞,给被校力传感器施加一个近似半正弦的脉冲力激励。由于该发生器在下落过程中易受影响,因此通过控制扶正机构使得发生碰撞时,锤体的冲击力能够垂直作用于被校力传感器上。

通过公式 $F=ma$ 可以看出,动态力 F 受碰撞质量 m 及碰撞加速度 a 决定,碰撞质量 m 是提升扶正机构托起的重锤质量,一般变化不大,而碰撞加速度 a 则受提升及扶正机构影响较大,提升高度的示值误差及重复性的验证,证明对重锤提升高度的控制可以很精确,而扶正机构的改进则保证了重锤在对动态力传感器施加力时,可沿垂直轴,使外力及干扰很少^[6]。验证试验数据如表2所示。

表2 提升及扶正机构的重复性验证数据

测量次数	次数	标准值		被校值		测量重复性/%	峰值重复性/%
		力值峰值/N	持续时间/ms	电压峰值/mV	持续时间/ms		
1	1	1081.91	6.89	4244.47	7.03	0.10	2.94
	2	1137.59	6.80	4456.34	6.91		
	3	1131.00	6.80	4431.03	6.92		
2	1	2170.81	5.58	8436.72	5.62	0.06	1.34
	2	2205.64	5.62	8573.12	5.67		
	3	2220.73	5.52	8638.54	5.57		
3	1	9812.15	3.40	38013.54	3.37	0.09	1.22
	2	23853.49	1.90	92531.46	1.87		
	3	23469.67	1.91	91431.43	1.87		
4	1	24033.65	1.89	93071.63	1.87	0.41	1.40
	2	23853.49	1.90	92531.46	1.87		
	3	23469.67	1.91	91431.43	1.87		
5	1	50311.63	2.17	194540.11	2.16	0.12	0.52
	2	50147.81	2.17	194241.45	2.15		
	3	50595.34	2.13	195758.12	2.11		
6	1	120508.3	0.93	461751.69	0.93	0.37	0.75
	2	121364.8	0.92	465883.13	0.92		
	3	119824.2	0.94	461610.86	0.93		

提升机构的优点是扶正机构的上下移动以及释放全部可以通过上位机界面控制,同时液压提升方式极为平稳,重复性及扶正机构的对中性,水平度都可以得到极好地保持。经验证试验可知,发生装置的测量重复性很好,能够满足脉冲力装置中1%的预期目标。

4 结论

落锤式脉冲力校准装置对于压电式力传感器等无法静态校准的力测试系统的灵敏度的可靠校准和推广具有革命性作用,对建立脉冲动态力量值传递体系具

有重大意义。而此次对脉冲力校准装置的提升和扶正机构的研究,解决了校准过程中除垂直方向外,其它外力对力传感器施加的噪声及影响,通过试验验证,本脉冲力校准装置的提升机构和扶正机构具有高提升精度,高提升重复性,且在碰撞过程中可输出近似于半正弦的圆滑波形,有效减少了碰撞过程中激振对锤体与力传感器的影响。

参 考 文 献

- [1] 侯文玫,张运波,乐燕芬,等. 外差激光干涉测长非线性误差的消除[J]. 中国激光, 2012, 39(9): 157-162.

- [2] 王跃科. 现代动态测试技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 41-43
- [3] 董跃华. 激光干涉检测装置的实验研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.
- [4] 于海利. 基于双频激光干涉测量的大行程纳米定位技术及其应用研究[D]. 中科院长春光机所知识产出 2011.

- [5] Hessling J P. Dynamic calibration of uni-axial material material testing machines[J]. Mechanical Systems & Signal Processing, 2008, 22(2): 451-466.
- [6] 范锦彪, 李玺, 徐鹏, 等. 高 g 值加速度校准激励脉冲的横向激光干涉测量方法[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(2): 497-502.

《宇航计测技术》2017 年第 5 期目次

一种大型紧缩场极坐标测试扫描架系统的设计与实现
辐射变色薄膜剂量计性能测试及加速器应用基于失效分析理论的钟振失效分析方法研究
一种面向电力终端的北斗定位模块研究
一种负极性直流高压线性电源设计
一种 CS115/CS116 电流监测探头时域校准夹具的设计
基于电容感测高温隔离触控模块的研制
基于 Labview 的磁罗盘测试系统设计与实现
飞行器脉动压力测量及校准技术研究现状
数字化干涉仪测角技术
基于 SSI 通讯的吸附式水平测量仪设计
基于半导体制冷器的微型黑体温控系统
基于 SOPC 的计算机控制技术
RAD-7 测氦仪检定结果不确定度的评定

《宇航计测技术》2017 年第 6 期目次

大型结构高次曲面外形精密测量技术研究与应用
静压气浮轴系回转精度测量方法研究
基于 DSP 的二维运动机构位置测量与控制技术
应用数字工业摄影测量实现天线反射体姿态恢复
基于激光跟踪仪的多立方镜姿态标定方法
双相机工业摄影测量系统精度影响几何因素测评
箭体壳段结构数字散斑相关测量方法研究
基于导航信号模拟器的采集回放测试方法研究
基于 PC104 的某型相机操纵器检测系统
热电偶温度传感器响应时间测试及分析
基于多特征融合分析的羽流烟雾区域识别
外弹道组网测试引导控制系统设计
利用 Langmuir 探针诊断激波管高温高密度等离子体
振动试验极限控制应用实例
UPS 校准方法研究
基于 PI 控制的直流电机调速控制系统的研制
一种基于倍福控制器的点火控制系统设计
气体中氧含量测试影响因素研究

《化学分析计量》2017 年第 5 期目次

标准物质

镉溶液标准物质的研制

碳化硼成分分析标准物质的研制

分析测试

液相色谱-同位素稀释质谱法测定人体生长激素
扫描型 X 射线荧光显微分析仪测定汽车零部件及内饰材料中铅、镉、汞、铬和溴
原子荧光光谱法测定粗锌中的砷
电感耦合等离子体原子发射光谱法测定植物中钾、钠、钙和镁
密闭罐溶样-氢化物发生-原子荧光光谱法测定中药中的汞和砷
微波萃取气相色谱-质谱法测定发泡塑料中的甲酰胺
纳米金-壳聚糖修饰电极循环伏安法测定抗坏血酸
气相色谱-质谱联用法测定空气中的丙烯腈
近红外光谱法快速鉴定油菜杂交种的纯度
高效液相色谱-原子荧光光谱法测定水产品中 4 种砷形态
固相萃取-高效液相色谱法测定蔬菜中 8 种磺胺类抗生素
固相萃取-高效液相色谱法测定豆芽中 4-氯苯氧乙酸钠和 6-苄基腺嘌呤的残留量
基于钼酸盐光度法测定总磷的浊度去除方法
藏红 T 共振瑞利散射光谱法测定保健食品中的透明质酸钠
干法消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定颗粒饲料中的铅
顶空气相色谱法测定富氢水中的氢气
气相色谱法测定地表水中的氯丁二烯
高效液相色谱法测定地表水中 5 种雌激素残留
固体核磁共振法测定硫化丁苯橡胶中的苯乙烯
邻苯二甲酸柱前在线衍生反相高效液相色谱法测定功能饮料中赖氨酸的含量
火焰原子吸收光谱法测定预熔型精炼渣中的氧化镁
X 射线荧光光谱法快速测定黑铜中的铜、砷、锑、铋、铅、镍、锌和锡
EDTA 滴定法测定铜锡氧化物废靶粉中铜的含量
计量管理
气相色谱仪验证要点
仪器设备
液相色谱-原子荧光联用仪的校准
火灾探测器滤光片校准方法
综述
痕量水分标准装置研究进展
肽的检测方法及化妆品中肽检测的计量需求