

一种高寒气候环境疲劳试验设备的研制

肖勇¹, 吴帅¹, 王宝瑞², 罗来正¹, 王晓辉¹, 吴洋¹

(1.西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2.中国兵器装备集团公司, 北京 100089)

摘要: **目的** 研制一台高寒气候环境疲劳试验设备。**方法** 针对装备材料在服役过程中承受高寒气候环境-拉、压、弯载荷耦合作用的工况, 分析高寒环境与力学因素对材料的交互影响, 确定设备的工作原理和功能特点。通过分析设备本身的工作环境及特点, 对设备的结构及可靠性进行合理设计, 研制一台高寒气候环境疲劳试验设备。**结果** 该设备可实现载荷和频率等试验参数的精确控制, 能通过更换试验夹具分别开展高寒气候环境中的拉伸、压缩和弯曲疲劳试验。**结论** 新研制的设备适用于评价材料在高寒气候环境中的疲劳性能。

关键词: 高寒气候环境; 疲劳; 耦合作用; 试验设备

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.08.002

中图分类号: TJ01; TH871

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)08-0011-04

Development of a Kind of Fatigue Test Equipment for Cold Climate Environment

XIAO Yong¹, WU Shuai¹, WANG Bao-rui², LUO Lai-zheng¹, WANG Xiao-hui¹, WU Yang¹

(1.Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2.China South Industries Group Corporation, Beijing 100089, China)

ABSTRACT: Objective To develop a kind of fatigue test equipment for cold climate environment. **Methods** Based on the service process of equipment materials under the coupling conditions of cold climate-tension, compression and bending load, interaction effects of environmental and mechanical factors were analyzed to determine working principles and function characteristics of the new equipment. Structure and reliability of the equipment were designed reasonably through analysis on working environment and characteristics of the equipment itself to design and develop a kind of fatigue test equipment for cold climate environment. **Results** The test equipment could accomplish precise control of test parameters such as load and frequency, and carry out the tensile, compression and bending test in the cold climate environment by changing the test fixture. **Conclusion** The newly developed equipment is suitable for investigating tensile, compressive and flexural properties of materials in cold climate.

KEY WORDS: cold climate; fatigue; coupling effect; test equipment

我国东北地区因纬度高而形成的特别寒冷的气候区, 年平均温度仅 -1.8°C , 平均年温差达 70°C 以上, 空气较湿润, 年日照时数将近 2000 h, 日照百分率达到 70%^[1]。这种温度低、温差大、太阳辐射强的高寒气候环境对装备环境适应性提出了严峻的考验^[2-6]。在高寒气候环境中服役的装备材料, 由于长

时间的复杂高寒气候环境与反复的拉伸、压缩、弯曲等工况载荷的耦合作用, 导致装备关键结构件和部分功能件提前腐蚀/老化失效, 服役寿命显著低于设计使用寿命, 严重影响装备的可靠性和安全服役能力^[7-13]。

目前, 国内外对于高寒气候环境与拉、压、弯载

荷耦合作用下的材料力学性能试验没有有效的方法,也没有相关的标准和设备。国外如美国、英国等十分重视高原高寒环境模拟试验技术研究,建成了可以模拟高原高寒地区环境温度、大气压力、环境湿度及日照的高原高寒地区环境模拟实验室^[14]。为了掌握环境因素与拉、压、弯载荷工况交互作用对材料性能的影响,国内研究人员在普通疲劳试验装置基础上增加能够模拟温度、湿度等环境因素的环境箱,如中国专利“深冷环境材料力学性能检测试验装置(CN 1027-98573 A)”公开了一种可实现从常温到液氮温度的材料疲劳试验装置^[15],中国专利“液氮温区材料三点弯曲多试样连续测试装置(CN 103900914 A)”公开了一种低温下多试样自动换样、一次装样可连续测试多个试样的三点弯曲测试装置^[16]。这些装置通常仅能进行单一环境条件的模拟,不能真实反映复杂的高寒气候环境中温度、太阳辐射等因素与拉、压、弯工况载荷耦合作用下的材料力学性能变化。因此,提供先进、有效的试验设备研究高寒气候环境与拉、压、弯载荷耦合作用下装备材料的力学性能变化,已经成为保障装备高寒气候环境服役必不可少的要求。

文中研制了一台高寒气候环境疲劳试验设备,该设备具有结构简单可靠、操作方便等特点,能够满足材料在真实的高寒户外环境中进行拉伸、压缩和弯曲试验,有效地评估高寒气候环境与拉、压、弯载荷耦合作用下的装备材料力学性能变化。

1 设备功能特点

该设备是一款能在低温、高寒户外环境下工作的机电式动静载荷疲劳试验装置,适用于研究工作在高寒大气环境中承受拉、压、弯载荷工况的材料力学性能变化。设备可同时安装5套夹具进行5件试样的试验,显著提高了试验效率。可调节装夹试样角度,满足不同的光照条件要求。设备可针对试验材料需长期在高寒大气环境中承受静载荷(拉、压或弯)的工况,通过静载加载机构加载后进行静态暴露试验,也可针对工作在高寒大气环境中的材料长期经受环境侵蚀和动载荷(拉、压或弯)反复作用的工况,进行材料的疲劳试验。因而相对于传统的实验室模拟试验设备,该设备能更好地模拟高寒环境中材料的实际服役工况,评估材料的疲劳性能变化,其实验结果对于指导选材更具可参考性。

该设备采用伺服电机闭环控制原理,可根据需要对载荷类型、载荷量值、加载频率等试验条件进行设计,实现装置对被测试样实施拉、压、弯的动/静态高精度加载。试验设备的主要技术参数:载荷类型包括拉伸、压缩、弯曲,试验力为1~50 kN,示值精确度 $\leq \pm 0.5\%$,加载频率为1~20 Hz。

2 设备工作原理及结构特点

该装置采用伺服电机闭环控制原理,控制系统通过控制超大功率变频伺服电机,通过轴承带动电动伺服刚体内丝杠的转动,从而驱动活塞进行上下线性运动。控制系统通过控制电机的功率和频率精确控制作动器缸体内活塞上下移动的位移及动载荷大小、频率和波形。作动器缸体活塞与夹有被测试样的夹具通过机械连接,进而实现装置对被测样实施拉、压、弯的动态高精度加载,连接在夹具上的位移传感器和变形传感器将信号反馈给控制系统实现载荷补偿。

为了评估材料在真实高寒气候环境中的疲劳性能,该设备需长期放置在高寒户外环境中工作,设备本身将承受严酷的低温环境,为了保证设备长期稳定工作,设备安装分为室外和室内两部分。其中,易于受环境腐蚀/老化影响的电控系统、动载加载机构、主机角度调整机构等结构安装于钢筋混凝土基础设施的室内控温控湿环境,主机框架、横梁锁紧系统、试样夹具、静载加载机构等安装于地上户外环境。设备安装如图1所示。

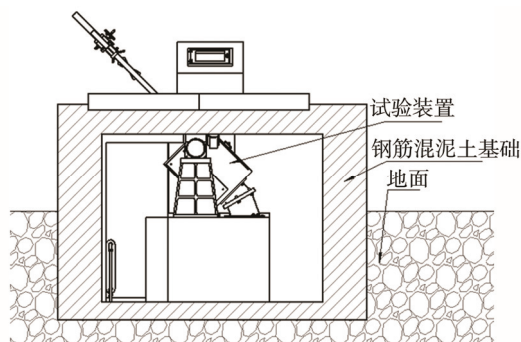


图1 设备安装

高寒气候环境疲劳试验设备结构如图2所示。设备由主机框架、横梁锁紧系统、主机角度调整机构、夹具系统、静载加载机构、动载加载机构、电控系统等组成。主机框架采用闭式结构,两根立柱固定在基座上,移动梁套装在立柱上,构成了受力的基本框架。移动横梁上固定静载加载机构,在移动横梁两侧装有锁紧系统,横梁锁紧系统采用螺栓锁紧形式,提供了保证试验成功的夹紧力。设备静载加载机构主要元件为涡轮蜗杆升降机,通过手动旋转手柄对样品产生推拉力,以达到静态加载的目的。动载加载机构采用伺服电机驱动,采用加装量块的形式调节振幅,可以实现不同振幅的疲劳试验。为了满足光照等环境条件,更好地模拟真实环境中材料的服役工况,设计了角度调整机构,可根据需求将装置调整到与水平面成 30° 、 45° 等角度。同时为了满足不同的载荷工况(拉、压、弯)需求,设计了拉伸、压缩和弯曲三类夹具,夹具

材料均采用 3Cr13 不锈钢材质,拉伸夹具采用手动楔形结构,压缩夹具采用上下两侧压盘形式,弯曲夹具采用三点弯曲形式,三类夹具连接接口通用。

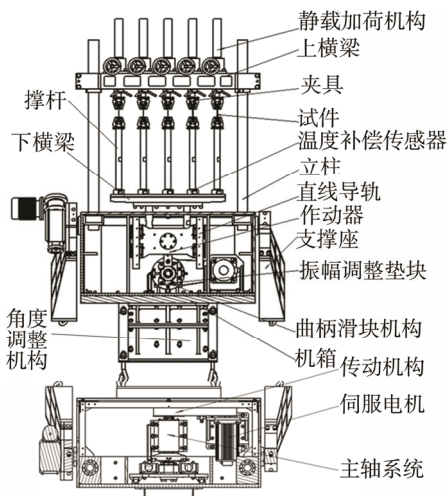


图 2 高寒气候环境疲劳试验设备结构

现有的模拟环境疲劳试验装置未能真实模拟复杂多变的高寒气候环境,因而无法准确评估装备材料在高寒环境中的疲劳性能,对指导装备选材,工艺优化难以提供有效支撑。该设备直接放置于高寒户外大气环境中,环境做到绝对真实,在结构设计时也充分考虑设备自身部组件对试验样品的遮挡作用,设计了角度调整机构以调整试样暴露角度,并在保证机械稳定性的前提下尽量缩减了移动横梁及夹具的尺寸,确保试验样品能够直接暴露在高寒气候环境中。

3 设备可靠性分析

设备直接放置在高寒气候环境中,承受风吹雨淋、寒冷低温等环境因素的影响,工作条件十分恶劣。为了保证设备长期稳定运转,设备采用分离式布置,电控系统、动载加载机构、主机角度调整机构等安装于钢筋混凝土基础设施的室内环境,并通过恒温恒湿保持系统保持室内处于恒定的温度和湿度。主机框架、横梁锁紧系统、试样夹具、静载加载机构等部组件直接放置在高寒气候环境中,试样夹具采用不锈钢材质,具有非常强的防腐耐蚀效果。立柱采用镀硬铬处理,在提高耐蚀性的基础上同时提高了立柱耐磨性。其他直接暴露在环境中的零件采用热镀锌工艺,镀锌层覆盖在零件的表面上,可以避免钢基体与腐蚀环境直接接触。

高寒气候环境疲劳试验设备的刚度及共振仿真分析如图 3 所示。当设备上横梁上升到最高点时,设备整体强度最低,因此以上横梁在最高点时为分析模型,对系统进行模态求解。在上横梁中心安装夹具过度盘螺栓孔处施加 100 kN 拉力,对设备进行静力下

的结构分析,结果表明:在 100 kN 的拉力下,设备在 z 方向(图 3a 箭头方向)的最大位移为 0.209 mm,按线性弹性变形,200 kN 时变形为 0.418 mm,大于设备要求的框架刚度 200 kN/mm。随后对设备上横梁分别施加不同方向的载荷(平行、垂直和扭转)进行了共振分析,结果表明,当载荷垂直上横梁时(图 3b 箭头方向),共振频率最小,为 21 Hz,低于设备的最大加载频率,且设备工作时载荷方向与此方向不一致,因此该设备在额定参数下工作时不会发生共振。

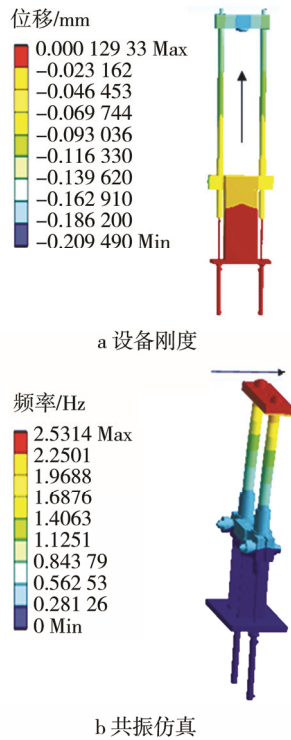


图 3 高寒气候环境疲劳试验设备刚度及共振仿真分析

综合以上分析,新研制的高寒环境疲劳试验设备具有良好的防腐保护,设备结构稳定,能够满足在高寒室外环境中有效可靠的评价材料疲劳性能的要求。目前正在进行某新型材料的高寒环境-疲劳载荷耦合试验。

4 结语

该设备适用于研究工作在高寒大气环境中承受拉、压、弯载荷的材料力学性能变化。利用该设备对材料在真实寒冷低温大气环境中的疲劳性能进行评估,对应用于高寒气候环境下的装备、器械的设计、选材,提高装备与器械的性能与寿命、增强我国国防力量和工业实力等具有重要的指导意义和工程应用价值。

参考文献:

[1] 秦晓洲. 自然环境试验站典型环境特征及腐蚀图谱

- [M]. 北京: 航空工业出版社, 2010
- [2] 胥泽奇, 张世艳, 宣卫芳. 装备环境适应性评价[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 54-58.
- [3] 许翔, 周广猛, 郑智, 等. 高原环境对保障装备的影响及适用性研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(5): 100-103.
- [4] 翟玮. 机载电子设备环境适应性设计[J]. 电子机械工程, 2012, 28(5): 7-10.
- [5] 祝耀昌, 常文君, 傅耘. 武器装备环境适应性与环境工程[J]. 装备环境工程, 2005, 2(1): 14-19.
- [6] 熊长武. 装备环境适应性设计思想变革与实践[J]. 装备环境工程, 2014, 11(2): 20-25.
- [7] 李继红, 何建新, 张先勇, 等. 某型军用锂离子电池低温环境适应性[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 111-115.
- [8] 田睿, 万瑞升. 某型军用电源车高低温环境试验方法探讨[J]. 装备环境工程, 2010, 7(4): 100-103.
- [9] 谢里阳, 刘建中, 吴宁祥, 等. 风电装备传动系统及零部件疲劳可靠性评估方法[J]. 机械工程学报, 2014, 50(11): 1-8.
- [10] 王欣, 刘鹏, 靳明旭, 等. 开口螺钉断裂的材料分析及工艺试验[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(6): 105-107.
- [11] 陈辉刚. 高速列车用 A6N01S-T51 铝合金及其焊接接头高寒条件下的性能[J]. 电焊机, 2016, 46(9): 77-81.
- [12] 唐亮, 吴勋, 杨蓉, 等. 某型液体火箭动力系统低温环境适应性要求验证试验与结果分析[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 106-109.
- [13] 文邦伟, 胥泽奇. 外军装备环境适应性典型案例[J]. 装备环境工程, 2005, 2(3): 83-87.
- [14] 高强, 庞志兵, 魏赫. 高原高寒环境对武器装备的影响研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 118-122.
- [15] 郑津洋, 高晓哲, 缪存坚, 等. 深冷环境材料力学性能检测试验装置. 中国: CN102798573 A[P]. 2012-11-28.
- [16] 李鹏远, 韩石磊, 杨淑娟, 等. 液氮温区材料三点弯曲多试样连续测试装置. 中国: CN103900914A[P]. 2014-07-02.