

一种海洋气候环境-扭转疲劳试验设备的研制

符朝旭¹, 黎小锋², 李景育¹, 罗来正¹, 肖勇¹, 周堃¹, 王晓辉¹

(1.中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 2.重庆电子工程职业学院, 重庆 401331)

摘要: **目的** 研制一种海洋气候环境-扭转疲劳试验设备。**方法** 针对海洋环境下服役的装备材料及结构承受环境腐蚀-扭转载荷耦合作用的特点, 采用液压伺服闭环控制原理, 通过特定结构布置、液压动力系统和伺服扭转疲劳系统的合理设计, 研制一种海洋气候环境-扭转疲劳试验设备。**结果** 该设备可实现扭转角度、扭矩、频率等试验参数的精确控制, 准确表征工作在海洋大气环境中的材料及结构扭转性能。**结论** 新研制的设备适用于海洋大气环境下服役的材料及构件扭转性能试验验证与评估。

关键词: 海洋气候环境; 扭转; 耦合作用; 试验设备

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.04.010

中图分类号: TG172.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)04-0055-04

Development of a Kind of Torsion Fatigue Test Equipment for Marine Climatic Environment

FU Zhao-xu¹, LI Xiao-feng², LI Jing-yu¹, LUO Lai-zheng¹, XIAO Yong¹, ZHOU Kun¹, WANG Xiao-hui¹
(1. No.59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China; 2. Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China)

ABSTRACT: **Objective** To develop a kind of torsion fatigue test equipment for marine climatic environment. **Methods** According to characteristics of the coupling effect of environmental corrosion and torsion load of equipment materials and structures serving in the marine environment, the hydraulic servo closed-loop control principle was used and specific configuration, hydraulic power system and servo torsion fatigue system were designed to develop a kind of torsion fatigue test equipment for marine climatic environment. **Results** Test parameters of torsion angle, torque and frequency of the equipment can be controlled accurately. And the torsion properties of materials and structures in the marine atmosphere accurate were characterized accurately. **Conclusion** The newly developed equipment is suitable for testing and evaluating torsion properties of materials and structures in the marine atmosphere.

KEY WORDS: marine climatic environment; torsion; coupling effect; test equipment

在当前复杂的世界性海洋争夺战中, 我国的海洋权益正受到严重的侵害, 海疆安全正面临着十分严峻的挑战及巨大的军事斗争压力^[1-2]。随着我国国防安全防御战略的转变, 新一代高新武器装备服役环境由内陆向沿海、岛礁甚至深海进一步拓展, “高温、高湿、高盐雾、强太阳辐射”的“三高一强”严酷海洋环境对装备的材料及结构造成严重的腐蚀

或破坏^[3-5]。与此同时, 装备自身会受到反复的扭转、拉伸等疲劳载荷作用, 这种环境腐蚀-疲劳载荷的耦合作用会造成装备主承力结构提前破坏甚至断裂^[6-8], 严重影响装备的可靠安全服役^[9-11]。

目前, 国内外对于海洋气候环境-扭转载荷耦合作用下的材料及结构扭转性能试验没有专门的设备及标准, 扭转性能测试主要在实验室进行。如

收稿日期: 2019-02-16; 修订日期: 2019-03-05

作者简介: 符朝旭(1987—), 男, 海南万宁人, 工程师, 主要研究方向为环境试验。

通讯作者: 罗来正(1983—), 男, 江西玉山人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为环境试验与环境适应性评价。

CN107703006A 公开的拉伸预载荷下扭转疲劳的复合加载装置,可实现电场、热场及磁场耦合^[12]; CN106872294A 公开的材料扭转及扭转疲劳试验装置,包括疲劳试验机、真空杜瓦容器、控温系统和夹具组件^[13]。上述试验装置主要是在实验室对电场、热场、磁场或温度进行模拟,实现环境因素与扭转疲劳的耦合,难以有效反映复杂海洋大气腐蚀环境与扭转疲劳的耦合作用。

文中在上述环境背景下,自主研制了一种海洋气候环境-扭转载荷耦合试验设备,并安装于海南万宁试验站海洋大气户外环境下。该设备可根据需求对扭转角度、扭矩、载荷波形、加载频率等试验条件进行设计,实现对被测样实施扭转的动/静态高精度加载,达到被测样同时遭受海洋气候环境和扭转载荷耦合作用的目的,有效验证与评估装备材料及结构在海洋大气环境腐蚀与扭转载荷耦合作用下的扭转性能变化。

1 设备功能特点

海洋气候环境-扭转载荷耦合试验设备是一款可在海洋户外环境下使用的电液伺服扭转疲劳试验设备,适用于海洋大气户外环境下承受扭转工况载荷的材料及构件扭转性能的研究。该设备具有在海洋气候户外环境下对被试验样品施加一定的扭转动/静态载荷的功能,能够根据实际需要,对载荷类型、载荷量值、载荷波形、加载频率等试验条件进行设计,实现在海洋气候环境下对被测样实施扭转的动/静态高精度加载。

该设备可在海洋大气户外环境下开展扭转试验和扭转疲劳试验,实现海洋大气环境腐蚀与扭转疲劳载荷的有效耦合,特别适用于在海洋大气环境中长期遭受环境腐蚀和扭转静/动载荷工况反复作用的材料及构件的疲劳试验研究。相对于传统的实验室扭转疲劳试验而言,所得试验结果更为准确、真实、可靠,更具工程应用价值。试验设备的主要技术参数见表1。

表1 试验设备主要技术参数

技术指标	技术参数
载荷类型	扭转
额定负荷/(N·m)	-1000~1000
试验空间/mm	50~350
试验频率/Hz	0.01~20
角度量程	-45°~45°
示值精确度	≤±1%

2 设备工作原理及结构特点

试验设备采用液压伺服闭环控制原理,通过电机带动高压油泵产生高压油,高压油经蓄能器平稳后,经过滤器和若干单向阀进入数字伺服阀。控制系统通

过控制伺服阀内高压油的进出精确推动作动器缸体内活塞(叶片)旋转,并通过高压油的流量和进油方向控制设备加载的扭转角度或扭矩、频率及所需的波形。用扭矩传感器或角度传感器反馈的信号进行扭矩或角度的载荷补偿,作动器与夹有被测试样的夹具通过机械连接,进而实现设备对被测样实施扭转的动/静态高精度加载。

该设备主要用于评估与验证海洋大气环境服役下材料及构件的扭转性能。为了保证试验设备在海洋环境下长久、可靠地工作,设备采用立式布局,分为室外和室内两部分。其中,伺服扭转疲劳系统、信号检测单元、动力系统等结构设置于可控温控湿的室内密闭环境;主机框架、夹持机构、试样夹具等位于密闭室外。设备安装如图1所示。

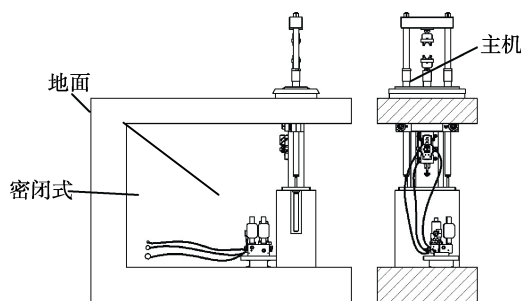


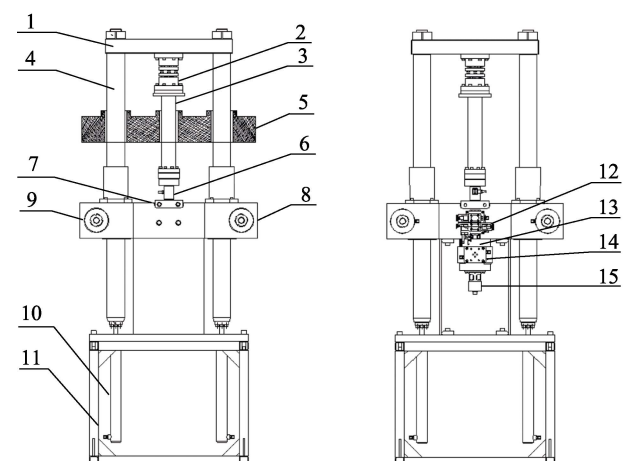
图1 试验设备安装

试验设备由主机框架、夹持机构、信号检测单元、伺服扭转疲劳系统、动力系统等组成。主机框架包括水平设置的底座和竖直设置的立柱,在立柱顶部设置有横梁,中部设置有工作台,底部设置有底座。工作台、立柱与横梁共同构成第一闭环框架,工作台、立柱与底座共同构成第二闭环框架。夹持机构包括同轴设置的上夹头和下夹头,上夹头连接横梁,下夹头通过夹杆连接伺服扭转疲劳系统。信号检测单元包括用于检测扭矩的扭矩传感器和用于检测扭转角度的角度传感器。伺服扭转疲劳系统包括依次连接的波纹联轴器、伺服阀、摆动缸和摆动动作器,波纹联轴器连接夹杆,扭矩传感器设置于波纹联轴器与夹杆之间,角度传感器连接摆动动作器,并与摆动动作器同轴设置,伺服阀连接液压动力系统。液压动力系统的压力油经伺服阀出油口分别流入摆动动作器的两组油腔,两组油腔的压差产生液压力作用到双叶片,进而推动活塞转动产生扭矩,实现对试样的静态或动态扭转试验^[14]。试验设备结构如图2所示,该设备安装于海南万宁试验站,设备现场如图3所示。

3 试验分析

3.1 设备实用性分析

试验设备采用分体式设计,通过特定结构布置、



1-移动横梁；2-夹持机构；3-夹杆；4-立柱；5-防水装置；
6-扭矩传感器；7-波纹管联轴器；8-工作台；9-锁紧缸；10-升降油缸；
11-底座；12-伺服阀；13-摆动缸；14-摆动作动器；15-角度传感器

图 2 试验设备结构



图 3 耦合试验现场

液压动力系统和伺服扭转疲劳系统的相互配合,使得试验装置的稳定性、协同性、防水性、可靠性等性能相当优异。试验设备的室内和室外连接部位进行了防水处理,防水装置对双立柱表面进行迷宫式密封,防水装置与密闭室顶部之间做水泥防水,有效保证了雨水不会从立柱与地下密闭控制室顶部衔接处漏进地下密闭控制室。通过将设备易腐蚀部分置于控温、控湿的密闭控制室,避免了易腐蚀结构直接暴露于海洋大气户外环境中,有效保证试验设备长久、可靠工作。试验加载部分置于高温、高湿、高盐雾的海洋气候环境中,保证试样扭转疲劳试验和静态暴露试验始终处于潮湿海盐离子的侵蚀、干/湿交替变化等严酷腐蚀环境中,实现海洋大气环境腐蚀与扭转疲劳载荷的有效耦合。

为了提高户外环境中设备结构的耐蚀性,暴露于户外环境的横梁和立柱均采用 316L 不锈钢。对设备横梁表面进行镀铬,并喷涂耐海水有机涂料(涂层体系为 TE55-80 环氧富锌底漆+TS55-80 聚氨酯面漆)。对立柱表面进行镀铬并涂抹防锈油。对夹持机构进行镀锌,并在非承力部位喷涂耐海水有机涂料。

该试验设备直接放置于海洋大气户外环境中,相对于实验室模拟复杂多变的海洋气候环境而言,腐蚀环境绝对真实。设备夹持间距可调,可对 50~350 mm

的材料及结构进行扭转试验和扭转疲劳试验,试验的最大载荷为 1000 N·m。

3.2 试验样品要求

海洋气候环境-扭转疲劳试验设备适用于高强度合金材料/工艺,试验样品推荐采用圆柱形。样品总长度和夹持端尺寸应适应试验机夹头夹持,宜为 50~350 mm,夹持端直径宜为 15~30 mm。

试验应保证足够的平行样品数量,一般不少于 3 件,以确保检测数据的可靠性。样品的总数量应不少于每组平行样品数量、预期检测次数、试验项目种类的乘积,建议样品的总数量按式(1)计算:

$$Y=A \times B \times C+D \quad (1)$$

式中: Y 为样品总数量; A 为检测周期数; B 为每组平行样品数量; C 为试验项目种类; D 为备用样品数量。

3.3 可靠性分析

为了考核试验设备的稳定性和可靠性,对总长度为 120 mm、夹持端直径为 20 mm 的 30CrMnSiNi2A 高强度钢试样开展海洋气候环境-扭转疲劳载荷耦合试验,试验的平行样为 5 件。预先设定扭转疲劳加载试验时间分别为 10、20、30、45 天,每天扭转疲劳加载试验 1 次,每次加载 30 min,扭转试验角度范围为 $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。耦合试验结束后,检测其扭转性能,对试样进行扭转试验,直至扭断为止。获取试样海洋气候环境下扭转性能随环境腐蚀-扭转载荷耦合作用时间的变化规律,试验结果如图 4 所示。

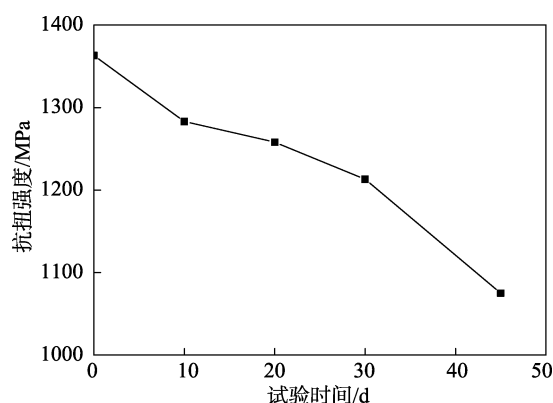


图 4 30CrMnSiNi2A 高强度钢抗扭强度变化曲线

30CrMnSiNi2A 高强度钢试样海洋气候环境-扭转疲劳载荷耦合试验总时间为 210 天,试验期间,设备稳定可靠,未出现影响试验进程的重大故障。试验很好地模拟了海洋大气环境中材料承受的实际服役工况,试验结果充分反映了海洋大气环境腐蚀与扭转疲劳载荷对 30CrMnSiNi2A 高强度钢的耦合作用,真实表征了工作在海洋大气环境中材料的扭转性能。试验结果真实、可靠,对于指导装备的设计选材、腐蚀故障分析和日常维修保养等可参考性更强。综上所述,新

研发的试验设备运转的稳定性及试验结果的可靠性都得到了有效保障。

4 结语

该设备适用于研究海洋大气环境下服役并承受扭转载荷工况的材料及构件的扭转性能,为材料及构件扭转性能试验验证与评估提供了一种新的技术手段。在海洋大气户外环境下,利用该设备开展海洋气候环境-扭转疲劳载荷耦合试验,获取材料及构件耦合作用下的腐蚀变化规律及机理。耦合试验结果与静态自然环境试验和实验室试验相比,具有更高的实用性和工程应用价值,对于装备的设计选材、寿命评估、维修方案制定等更具有指导意义。

参考文献:

- [1] 张晏瑜. 和平时期的海洋军事利用与海战法的最新发展[J]. 东方法学, 2014(4): 67-74.
- [2] 郑义伟. 陆海复合型中国“海洋强国”战略分析[J]. 东北亚论坛, 2018(2): 76-90.
- [3] 何建新, 秦晓洲, 易平, 等. Q235 钢海洋大气腐蚀暴露试验研究[J]. 表面技术, 2006, 36(4): 21-23.
- [4] 罗来正, 肖勇, 苏艳, 等. 7050 高强铝合金在我国四种典型大气环境下腐蚀行为研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(4): 49-53.
- [5] 闫杰, 何俊, 黄创绵, 等. 海洋装备用电缆南海海洋环境加速试验研究[J]. 环境技术, 2017, 35(2): 7-10.
- [6] 吴帅, 张津, 殷明, 等. 一种海洋气候环境-摩擦载荷耦合试验设备的研制[J]. 装备环境工程, 2015, 12(2): 70-74.
- [7] 罗来正, 肖勇, 王晓辉, 等. 海洋气候环境-拉、压、弯载荷耦合试验设备及试验方法: 中国, CN 109115593A [P]. 2018-07-12.
- [8] PIDAPARTI R M, JAYANTI S, SOWERS C A, et al. Classification, Distribution, and Fatigue Life of Pitting Corrosion for Aircraft Materials[J]. Journal of Aircraft, 2002, 39(3): 486-492.
- [9] 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, 2006, 2(3): 83-87.
- [10] 刘思宏. 舰载机典型机构腐蚀疲劳可靠性分析[D]. 西安: 西北工业大学, 2013.
- [11] 蔡健平, 陆峰, 吴小梅. 我国航空材料的腐蚀与防护现状与展望[J]. 航空材料学报, 2006, 26(3): 271-275.
- [12] 赵宏伟, 付祥祺, 白元元, 等. 拉伸预载荷下动态扭转疲劳力学性能测试装置: 中国, CN107703006A [P]. 2018-02-16.
- [13] 张恒成, 李来风, 李山峰, 等. 一种材料扭转及扭转疲劳试验装置: 中国, CN106872294A [P]. 2017-06-20.
- [14] 罗来正, 肖勇, 王晓辉, 等. 一种海洋气候环境-扭转载荷耦合试验装置及试验方法: 中国, CN 109163986A [P]. 2018-05-22.